

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
ENGENHARIA AMBIENTAL

**INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS E FERRAMENTAS  
DO ECODESIGN AO PROCESSO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

Aluna: Daniela Cristina Antelmi Pigosso  
Orientador: Prof. Titular Henrique Rozenfeld

Monografia apresentada ao curso de  
graduação em Engenharia Ambiental da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP

2008



A todos que passaram pela minha vida ao longo desses anos,  
deixando um pouco de si e levando um pouco de mim...

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor titular Henrique Rozenfeld, pela orientação, apoio, confiança e incentivo durante todo o desenvolvimento do projeto.

Ao professor doutor Aldo Roberto Ometto e ao engenheiro mestre Américo Guelere Filho, pela participação na banca de defesa, pela oportunidade de realização deste trabalho, pelo incentivo, pela paciência e pelas inestimáveis contribuições nas inúmeras reuniões realizadas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de iniciação científica (Processo 06/61768-0).

Aos amigos do NUMA (Núcleo de Manufatura Avançada) e da graduação em Engenharia Ambiental, pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus pais, a toda minha família e em especial ao Danilo, por ter estado ao meu lado quando mais precisei e nos momentos mais importantes de nossas vidas.

As minhas amigas Evelyn Talita Zanette, Flávia de Arruda Ferreira, Marília Gonsales da Costa Araújo e Adriane Takeda, por todos os momentos incríveis que passamos juntas durante a faculdade.

## **RESUMO**

**PIGOSSO, D.C.A. Integração de métodos e ferramentas do ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos.** 2008. 166 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Os produtos, apesar de fundamentais para a riqueza da sociedade e para a qualidade de vida desejada, estão na origem da maior parte da poluição e do esgotamento de recursos naturais. O ecodesign, uma abordagem pró-ativa de gestão ambiental, atua no desenvolvimento de produtos de forma a minimizar os impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto, sem comprometer outros critérios essenciais como desempenho, funcionalidade, estética, qualidade e custo. A não obtenção das potencialidades do ecodesign, tal como previsto no começo da década de 1990, pode ser explicada pelo intenso desenvolvimento de novos métodos e ferramentas de ecodesign em detrimento do estudo e aprimoramento das existentes e pela falta de integração com o processo de desenvolvimento de produtos. Este trabalho tem como objetivo sistematizar e integrar os diversos métodos e ferramentas do ecodesign nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, onde estão as maiores oportunidades de ganhos ambientais. Para a consecução desse objetivo será utilizado o modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos proposto por Rozenfeld et al (2006).

**Palavras-chave:** ecodesign, processo de desenvolvimento de produtos, métodos e ferramentas, integração

## **ABSTRACT**

**PIGOSSO, D.C.A. Integration of ecodesign methods and tools into the product development process.** 2008. 166 pages. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

The products are essential to society prosperity and desired life quality, but are also at the origin of most pollution and resources depletion that our society causes. Ecodesign, a pro-active approach of environmental management, take action in the product development process, aiming to minimize the environment impacts along the product life cycle without compromising, however, other essential criteria as performance, functionality, aesthetics, quality and cost. The no accomplishment of ecodesign potencialities, as expected in the beginning of 1990 decade, can be explained by the intense development of new ecodesign methods and tools prior to the study and improvement of existing ones and by the lack of its integration into the product development process. This study aims to systematize and integrate some ecodesign methods and tools into the initial phases of product development process, where are placed the major opportunities of increasing the environmental performance of a product and chances to minimize the environmental impacts of a product. The reference model for the product development process developed by Rozenfeld et al (2006) will be used to accomplish the goals of this project.

**Keywords:** ecodesign, product development process, methods and tools, integration

## **LISTA DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Atividades realizadas para a realização do projeto .....            | 16 |
| Figura 2: Ciclo de Vida Material dos Produtos .....                           | 19 |
| Figura 3: Exemplo da análise dos estudos obtidos na revisão sistemática ..... | 27 |
| Figura 4: Exemplo da análise da classificação dos métodos .....               | 28 |
| Figura 6: Fases de realização da ACV.....                                     | 37 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Classificação dos métodos selecionados em função dos critérios ..... | 30 |
| Tabela 2: Matriz do Design for Environment.....                                | 32 |
| Tabela 3: Formulário de preenchimento da EEA .....                             | 34 |
| Tabela 4: Eco-Function Matrix.....   | 47 |
| Tabela 5: Visão macro da integração .....                                      | 84 |

## SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| 1. Introdução .....   | 10  |
| 2. Objetivos da Pesquisa .....  | 14  |
| 3. Metodologia de Pesquisa .....  | 15  |
| 4. Revisão Bibliográfica – Ecodesign e o PDP.....                               | 19  |
| 5. Revisão Bibliográfica Sistemática – Métodos e Ferramentas de Ecodesign ..... | 25  |
| 6. Integração dos Métodos/Ferramentas do Ecodesign ao Modelo de Referência .    | 29  |
| 6.1. Seleção dos métodos e ferramentas de ecodesign .....                       | 29  |
| 6.1.1. Design for Environment Matrix (DfE Matrix) .....                         | 31  |
| 6.1.2. Environmental Effect Analysis (EEA) .....                                | 33  |
| 6.1.3. Life Cycle Assessment (LCA).....   | 36  |
| 6.1.4. Quality Function Deployment for Environment (QFDE).....                  | 40  |
| 6.1.5. EcoBenchmarking .....  | 43  |
| 6.1.6. The Eco-Function Matrix .....  | 45  |
| 6.1.7. As Dez Regras de Ouro .....  | 47  |
| 6.2. Integração dos métodos e ferramentas do ecodesign .....                    | 49  |
| 6.2.1. Design for Environment Matrix (DfE Matrix) .....                         | 50  |
| 6.2.2. Environmental Effect Analysis (EEA) .....                                | 52  |
| 6.2.3. Life Cycle Assessment (LCA).....   | 55  |
| 6.2.4. Quality Function Deployment for Environment (QFDE).....                  | 61  |
| 6.2.5. EcoBenchmarking .....  | 64  |
| 6.2.6. The Eco-Function Matrix .....  | 66  |
| 6.2.7. As Dez Regras de Ouro .....  | 67  |
| 6.3. Visão Macro da Integração.....   | 83  |
| 7. Conclusões .....   | 100 |
| 8. Referências Bibliográficas.....  | 103 |

## **APÊNDICES**

|   |     |
|---|-----|
| Apêndice A: Revisão Bibliográfica Sistemática .....                             | 111 |
| Apêndice B: Análise dos Dados do Cadastro dos Estudos .....                     | 114 |
| Apêndice C: Critérios de classificação dos métodos/ferramentas de Ecodesign ... | 115 |
| Apêndice D: Análise dos Dados da Classificação dos Métodos/Ferramentas .....    | 122 |
| Apêndice F: O Modelo de Referência para o PDP .....                             | 131 |

## **ANEXOS**

|   |     |
|---|-----|
| Anexo 1: Questões para preenchimento da DfE Matrix.....           | 154 |
| Anexo 2: Questões para preenchimento da Eco-Function Matrix ..... | 162 |

## **1. Introdução**

Os produtos são fundamentais para a riqueza da sociedade e para a qualidade de vida desejada. Todavia, o crescente consumo de produtos está também, direta ou indiretamente, na origem da maior parte da poluição e do esgotamento de recursos que a sociedade causa (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2001).

O desempenho ambiental de um produto pode ser determinado pela soma de todos os impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida (NIELSEN; WENZEL, 2001). Os impactos ambientais são causados por todos os produtos de alguma maneira, desde a extração da matéria-prima, produção e uso até a gestão e disposição final dos resíduos (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002).

Dada a significância dos impactos ambientais causados ao longo do ciclo de vida de produtos, o desenvolvimento de produtos é uma questão essencial a ser considerada para atingir a sustentabilidade. Um produto sustentável é aquele que compatibiliza o consumo de recursos e a geração de resíduos a um nível aceitável, contribuindo para a satisfação das necessidades humanas e para a viabilidade econômica empresarial. O desenvolvimento sustentável pode ser integrado numa completa estratégia de gestão do desenvolvimento do produto como uma abordagem complementar, uma nova área de conhecimento (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

O ecodesign, uma abordagem de gestão ambiental pró-ativa, corresponde à integração das questões ambientais no processo de desenvolvimento de produtos direcionadas à minimização dos impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto, sem comprometer outros critérios essenciais como desempenho, funcionalidade, estética, qualidade e custo (JOHANSSON, 2002; WEENRN, 1995).

Na última década, diferentes métodos e ferramentas de ecodesign foram desenvolvidos para a avaliação de impactos ambientais, evidenciando potenciais

problemas e conflitos e facilitando a escolha entre diferentes aspectos por meio da comparação entre estratégias de gestão ambiental. Entende-se como método e ferramenta qualquer meio sistemático para lidar com as questões ambientais durante o processo de desenvolvimento do produto (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002; BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

O intenso desenvolvimento de novos métodos e ferramentas de ecodesign em detrimento do estudo e aprimoramento das existentes e a falta de integração do amplo contexto do desenvolvimento de produtos e a sua ligação com a estratégia da empresa e com os processos de competição e cooperação são duas das explicações citadas por Baumann, Boons e Bragd (2002) para a não obtenção das potencialidades do ecodesign, tal como previsto no começo da década de 1990.

A maioria dos fatores que propiciam o sucesso da integração do ecodesign ao processo de desenvolvimento do produto são os mesmos fatores que são reconhecidos como essenciais para o próprio sucesso do desenvolvimento do produto. Dessa forma, uma empresa que gerencia o desenvolvimento do produto adequadamente e de forma estruturada, tem uma maior probabilidade de obter sucesso quando integra o ecodesign ao seu processo de desenvolvimento de produto (JOHANSSON, 2002).

As maiores oportunidades de melhorias ambientais de um produto estão nas primeiras fases do seu processo de desenvolvimento, em que os graus de liberdade no estabelecimento das características do produto e o potencial para melhorias ambientais são grandes. Estimativas apontam que de 60 a 80% do impacto ambiental total de um produto é estabelecido nestas fases. Conforme as características e os detalhes do produto vão sendo determinados, os graus de liberdade das escolhas diminuem gradualmente. Nas fases finais do processo, o conhecimento do produto é grande, mas as possibilidades de mudança do projeto são pequenas devido ao grande número de

decisões que já foram tomadas durante o processo. Neste ponto, as opções de melhoria ambiental se restringem aos processos de produção, logística, reciclagem, etc. (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006; MANZINI; VEZZOLI, 1998; NIELSEN; WENZEL, 2001; JESWIET; HAUSCHILD, 2005; JOHANSSON, 2002; SIMON et al, 1999).

Na literatura sobre ecodesign, um grande número de fatores foi apresentado, explicitamente ou implicitamente, como sendo essenciais para uma bem sucedida integração do ecodesign ao desenvolvimento do produto. Esses fatores podem ser agrupados em seis áreas principais: gestão, relações com consumidores, relação com fornecedores, competência, motivação e o processo de desenvolvimento. Na área do processo de desenvolvimento, os fatores de sucesso são, entre outros, a consideração das questões ambientais nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto e a integração das questões ambientais nos processos de desenvolvimento existentes.

Apesar da existência de vários métodos e ferramentas de ecodesign, eles não são utilizados de forma sistemática no desenvolvimento de novos produtos. Para que o Ecodesign seja de fato posto em prática, seus métodos e ferramentas precisam ser integrados e sistematizados de forma estruturada nas fases iniciais do processo de desenvolvimento do produto, por meio do uso de ferramentas e métodos adequados às necessidades de cada uma dessas fases. As questões ambientais e todos os outros requisitos do produto, como qualidade, segurança, custo, desempenho, funcionalidade, durabilidade, competitividade, etc. devem ser abordadas concomitantemente e de forma integrada ao processo de desenvolvimento do produto (BAKSHI; FIKSEL, 2003; GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006; LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006; SIMON ET AL, 1999).

O processo de desenvolvimento do produto padrão sobre o qual desenvolvimento de projetos está baseado é normalmente representado por um modelo de referência. O modelo de referência consiste de uma coleção das melhores práticas no desenvolvimento de produtos e é usualmente representado em visões parciais. É utilizado no processo de desenvolvimento do produto para estabelecer uma linguagem comum para todos os profissionais das diferentes áreas do conhecimento envolvidas no projeto, auxiliando na comunicação e na integração entre eles (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

O modelo de referência descreve as atividades, os resultados esperados, os responsáveis, os recursos disponíveis, as ferramentas de suporte e as informações necessárias ou geradas no processo e consiste de uma coleção das melhores práticas no desenvolvimento de produtos. O uso de um modelo de referência para o desenvolvimento de novos produtos pode contribuir para a padronização de algumas práticas, para o uso de uma linguagem comum e para garantir a repetibilidade entre projetos e a sua qualidade, aumentando a chance do produto obter sucesso no mercado através da estruturação do seu processo de negócio (ROZENFELD et al, 2006).

O modelo de referência utilizado neste projeto é o resultado da união entre a experiência dos autores do livro “Gestão de Desenvolvimento de Produtos” (ROZENFELD et al, 2006) e de dezenas de pesquisadores e especialistas na área de desenvolvimento de produto em uma ação conjunta de grupos de pesquisa da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, da Universidade Federal de São Carlos e da Universidade Federal de Santa Catarina, coordenado pelo professor Henrique Rozenfeld. A integração proposta é um conjunto de atividades estruturadas orientadas ao desenvolvimento de novos produtos que combina satisfatoriamente as perspectivas ambientais e de negócio.

## **2. Objetivos da Pesquisa**

Este trabalho tem como objetivo geral integrar os métodos e ferramentas do ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos por meio do uso do modelo de referência proposto por Rozenfeld et al (2006).

São objetivos específicos do trabalho:

- Identificar o estado da arte dos métodos e ferramentas de ecodesign existentes;
- Determinar critérios para sistematização dos métodos e ferramentas obtidos;
- Organizar e sistematizar de acordo com os critérios selecionados os métodos e ferramentas levantados durante a revisão bibliográfica;
- Estudar detalhadamente o modelo de referência para o PDP, assim como os dados de entrada e saída de cada atividade, para identificar as oportunidades de integração;
- Selecionar os métodos e ferramentas a serem integrados ao modelo de acordo com os critérios de classificação;
- Estudar detalhadamente os métodos e ferramentas selecionados, assim como os seus dados de entrada e saída, para a realização da integração.

### **3. Metodologia de Pesquisa**

De acordo com Gil (1999), método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que se devem empregar na investigação, a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa.

Este trabalho adota como base lógica à investigação o método hipotético-dedutivo, que consiste na adoção da seguinte linha de raciocínio: “quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenômeno, surge o problema. Para tentar explicar a dificuldades expressas no problema, são formuladas conjecturas ou hipóteses. Das hipóteses formuladas, deduzem-se conseqüências que deverão ser testadas ou falseadas” (GIL, 1999, p.30).

O problema de pesquisa pode ser explicitado pela seguinte pergunta: “É possível integrar os métodos e ferramentas do ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos?”. A hipótese defendida é que essa integração é possível e pode ser realizada por meio do uso do modelo de referência para o PDP proposto por Rozenfeld et al (2006), que pode ser instanciado para uma empresa particular.

A pesquisa neste trabalho pode ser caracterizada quanto a sua natureza como aplicada, devido ao seu objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos. A abordagem é realizada de forma qualitativa, de forma que o processo e o seu significado são os focos principais.

A metodologia da revisão bibliográfica sistemática é utilizada neste trabalho para a obtenção do estado da arte dos métodos e ferramentas do ecodesign. A revisão sistemática é uma metodologia de pesquisa específica, desenvolvida formalmente, para levantamento e avaliação de evidências pertencentes a um determinado foco de pesquisa. O processo de condução da pesquisa em uma revisão sistemática segue uma

seqüência bem definida de passos metodológicos, de acordo com um protocolo desenvolvido previamente (BRERETON et al, 2007).

Os passos realizados nesta pesquisa para a obtenção dos objetivos (Figura 1) são:

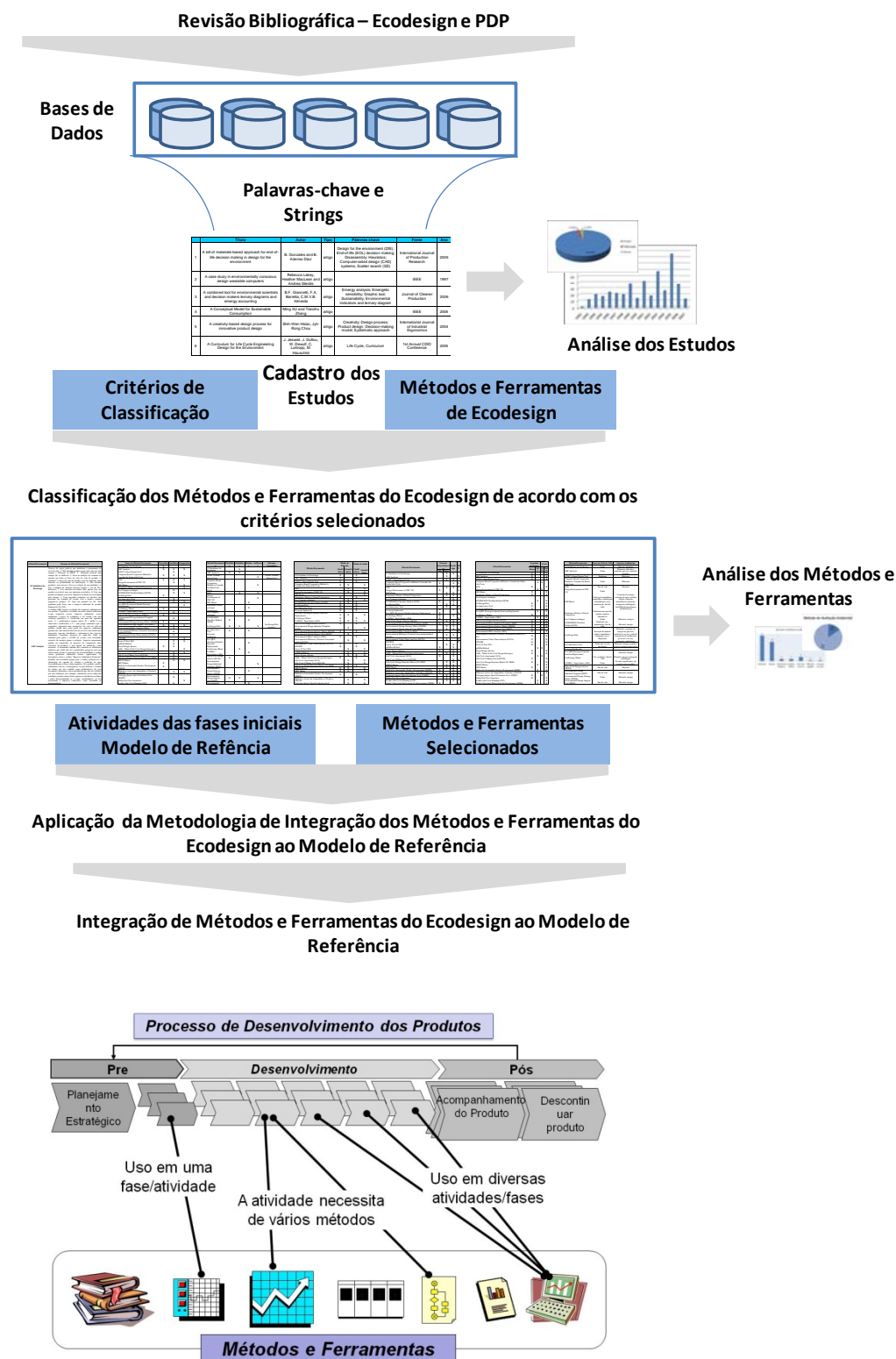


Figura 1: Atividades realizadas para a realização do projeto

1. Realização de uma revisão bibliográfica sobre ecodesign e o processo de desenvolvimento de produtos;
2. Realização de uma revisão bibliográfica sistemática para a obtenção dos métodos e ferramentas do ecodesign existentes;
  - 2.1. Determinação das palavras-chave e bases de dados a serem utilizadas na revisão;
  - 2.2. Realização da pesquisa de estudos com as palavras-chave nas bases de dados selecionadas;
  - 2.3. Realização do cadastro dos estudos obtidos;
  - 2.4. Aplicação de um critério de exclusão/inclusão para identificação dos estudos relevantes para a pesquisa;
  - 2.5. Realização de uma análise dos dados obtidos no cadastro dos estudos;
  - 2.6. Determinação dos critérios a serem utilizados para sistematização e classificação dos métodos e ferramentas do ecodesign;
  - 2.7. Realização do cadastro, classificação e sistematização dos métodos e ferramentas de ecodesign obtidos com a leitura dos estudos;
  - 2.8. Elaboração do estado da arte e análise dos métodos e ferramentas do ecodesign obtidos;
3. Integração dos métodos e ferramentas do ecodesign ao modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos:
  - 3.1. Determinação dos critérios utilizados para a seleção dos métodos e ferramentas de ecodesign a serem integrados ao modelo de referência;

- 3.2. Descrição e estudo aprofundado dos métodos e ferramentas selecionados e de seus dados de entrada e saída;
- 3.3. Avaliação dos dados de entrada e saída de cada uma das atividades do modelo de referência proposto por Rozenfeld et al (2006);
- 3.4. Realização da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos considerando-se os dados de entrada e saída de cada uma das atividades do modelo de referência e dos métodos/ferramentas de ecodesign.

#### 4. Revisão Bibliográfica – Ecodesign e o PDP

Os produtos são fundamentais para a riqueza da sociedade e para a qualidade de vida desejada. Todavia, o crescente consumo de produtos está também, direta ou indiretamente, na origem da maior parte da poluição e do esgotamento de recursos que a sociedade causa (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2001). Todos os produtos causam impactos ambientais durante o seu ciclo de vida (Figura 2) de alguma maneira, desde a extração da matéria-prima, manufatura e uso até o tratamento e disposição dos resíduos. Esses efeitos ambientais resultam de decisões inter-relacionadas feitas em vários estágios do ciclo de vida do produto (BAUMANN; BOONS; BRAGD, 2002).

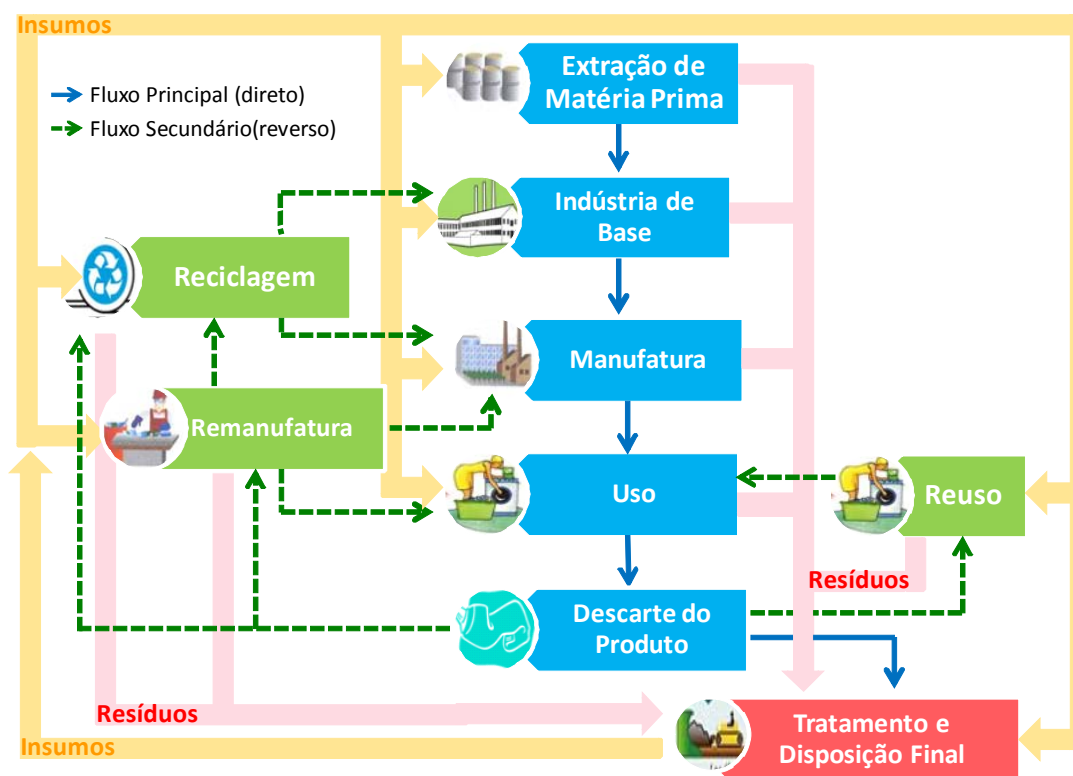


Figura 2: Ciclo de Vida Material dos Produtos

O início da preocupação empresarial com as questões ambientais está diretamente relacionada à maior conscientização ambiental do cidadão nas décadas de

1970 e 1980, consequência direta da postura passiva até então adotada pelas empresas. Nenhum mecanismo de controle da poluição era aplicado e a disposição dos resíduos gerados no processo produtivo era feita diretamente no meio ambiente, sem qualquer tipo de tratamento. A partir desse ponto, devido ao desenvolvimento e fortalecimento da legislação ambiental em todo o mundo, a estratégia ambiental industrial passou a adotar as posturas reativas, caracterizadas por soluções “fim-de-tubo”, cujo objetivo principal era a redução do potencial poluidor das emissões e substâncias provenientes das instalações fabris por meio do tratamento dos efluentes e dos gases gerados no processo de produção (JOHANSSON, 2002).

A postura preventiva surgiu em um contexto em que as empresas começaram a melhorar os seus processos, com métodos como a Prevenção à Poluição e a Produção mais Limpa, de forma a diminuir a geração de resíduos diretamente na fonte e, dessa forma, reduzir os custos com tratamento e disposição final. Além dos aspectos legais, essa mudança de atitude deve-se, também, à constatação dos reais custos associados à tradicional abordagem de fim de tubo. Observou-se que, além dos custos usualmente contabilizados com tratamento e disposição, há custos relacionados (e não usualmente contabilizados) com, por exemplo, perda de matéria prima, água, energia, não conformidades legais e normativas e aqueles relacionados à imagem da empresa (BIERMA et al, 1998). Sobre esse viés econômico, segundo dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), tipicamente, para cada dólar contabilizado com tratamento ou disposição de resíduos, há de dois a três outros dólares “escondidos” ou simplesmente ignorados, sendo essa constatação é válida, inclusive, para grandes e bem gerenciadas empresas (UNEP, 2004).

Recentemente, observa-se a transição para uma abordagem pró-ativa, com foco no desempenho ambiental do produto e caracterizada pela visão holística dos impactos ambientais associados às fases do seu ciclo de vida (SIMON, 1999; WEENRN, 1995).

O desempenho ambiental de um produto é determinado pela soma de todos os impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida (Figura 2). É necessário observar, entretanto, que nenhuma redução do impacto ambiental será obtida a menos que o produto seja competitivo e substitua outros produtos no mercado com menor desempenho ambiental. Assim, funcionalidade, desempenho, estética, qualidade e custo do produto devem ser compatibilizados com um melhor desempenho ambiental (NIELSEN; WENZEL, 2001).

O ecodesign pode ser definido como uma abordagem de gestão ambiental pró-ativa que corresponde a ações tomadas no desenvolvimento do produto direcionadas à minimização dos impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto, sem comprometer outros critérios essenciais como desempenho, funcionalidade, estética, qualidade e custo. Integra as questões ambientais no design industrial relacionando o que é tecnicamente possível com o que é ecologicamente necessário e socialmente aceitável, face à percepção crescente das necessidades de salvaguardar o ambiente num contexto de desenvolvimento sustentável (JOHANSSON, 2002; WEENRN, 1995).

A terminologia para o conceito da realização do processo de desenvolvimento de produtos com a integração das questões ambientais mudou durante as últimas décadas. O termo original, *green design* (design verde), foi substituído por design ecológico, design ambientalmente sensível ou ecodesign (BREZET; VAN HEMEL, 1997), design para o ambiente (*design for (the) environment*) (EHRENFELD J.R.; HOFFMAN A.J., 1993) e design ambientalmente responsável (DERMODY; HANMER-LLOYD, 1995). É interessante notar que o uso das terminologias varia de continente para continente.

Enquanto o termo “design para o ambiente” é mais utilizado nos Estados Unidos da América, o termo ecodesign é mais adotado no continente Europeu.

A prática de ecodesign torna-se essencial para aquelas empresas que já reconheceram que a responsabilidade ambiental é de vital importância para o sucesso no longo prazo, pois promove vantagens como melhoria da reputação, menor geração de resíduos, redução dos custos, conservação do capital, diminuição dos riscos, geração de inovações em produtos e atração de novos consumidores (BAKSHI; FIKSEL, 2003).

A integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto busca prevenir os impactos ambientais adversos antes que eles aconteçam, fornecendo uma oportunidade sistemática na antecipação e solução dos problemas para todo o ciclo de vida do produto. A integração dos aspectos ambientais no projeto e no desenvolvimento do produto pode ser sustentada pela existência de sistemas de gestão (por exemplo, sistemas de gestão ambiental e da qualidade ou programas de administração de produtos). Por outro lado, os sistemas de gestão existentes podem ser ativados pelas atividades de integração (ABNT NBR ISO 14.062, 2004).

O processo de integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto deve ser contínuo e flexível, promovendo criatividade e maximizando inovações e oportunidades para a melhoria ambiental. Como base para esta integração, as questões ambientais podem ser contempladas nas políticas e estratégias da organização envolvida (ABNT NBR ISO 14.062, 2004). A preparação de uma estratégia generalizada para a integração das questões ambientais no processo de desenvolvimento de produtos deve considerar a complexidade e a diversidade dos produtos e a rápida evolução do conhecimento (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2001).

Mais organizações estão se conscientizando de que existem benefícios substanciais na integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do

produto (ABNT NBR ISO 14.062, 2004). Alguns dos fatores que têm impulsionado as empresas a desenvolver produtos mais sustentáveis são: a legislação ambiental, a melhoria da imagem, a demanda dos consumidores por produtos com melhor desempenho ambiental, as oportunidades de novos negócios e o crescente custo de disposição dos resíduos (DOWIE, 1994). Nesse sentido, o projeto é cada vez mais uma atividade estratégica para o ganho de competitividade na indústria (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2006).

As organizações que integram os aspectos ambientais no projeto e no desenvolvimento do produto normalmente consideram as seguintes questões relacionadas ao produto (ABNT NBR ISO 14.062, 2004):

- a) integrações prévias que contemplam previamente os aspectos ambientais no projeto de produto e processo de desenvolvimento;
- b) ciclo de vida do produto: análise desde a aquisição da matéria-prima até o fim de vida do produto;
- c) funcionalidade: como um produto se ajusta adequadamente aos propósitos para os quais ele se destina em termos de usabilidade, vida útil, aparência, etc.;
- d) conceito de critérios múltiplos: considerações de todos os impactos e aspectos ambientais relevantes;
- e) trocas compensatórias na busca de melhores soluções.

O processo de integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto pode ser iniciado tanto pela alta administração (de cima para baixo) como pelos desenvolvedores do produto (de baixo para cima). Na prática, ambos os casos podem funcionar simultaneamente. Independentemente da função comercial que deu início ao processo, o apoio da alta administração é necessário para se obter um efeito

significativo nas atividades do projeto do produto e de desenvolvimento, na organização (ABNT NBR ISO 14.062, 2004).

Na literatura sobre ecodesign, um grande número de fatores foi apresentado, explicitamente ou implicitamente, como sendo essenciais para uma bem sucedida integração do ecodesign ao desenvolvimento do produto. Esses fatores podem ser agrupados em seis áreas principais: gestão, relações com consumidores, relação com fornecedores, competência, motivação e o processo de desenvolvimento. Na área do processo de desenvolvimento, os fatores de sucesso são, entre outros, a consideração das questões ambientais nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produto e a integração das questões ambientais nos processos de desenvolvimento existentes (BOKS, 2005; JOHANSSON, 2002).

A maioria dos fatores que propiciam o sucesso da integração do ecodesign ao processo de desenvolvimento do produto são os mesmos fatores que são reconhecidos como essenciais para o próprio sucesso do desenvolvimento do produto. Dessa forma, uma empresa que gerencia o desenvolvimento do produto adequadamente e de forma estruturada, tem uma maior probabilidade de obter sucesso quando integra o ecodesign ao seu processo de desenvolvimento do produto (JOHANSSON, 2002).

O intenso desenvolvimento de novos métodos e ferramentas de ecodesign em detrimento ao estudo, aprimoramento e sistematização das existentes e a falta de integração com o amplo contexto do desenvolvimento de produtos é uma das explicações citadas por Baumann, Boons e Bragd (2002) para a não obtenção das potencialidades do ecodesign, tal como previsto no começo da década de 1990. Assim, percebeu-se a necessidade da realização de uma revisão bibliográfica sistemática para levantamento dos métodos e ferramentas de ecodesign existentes e aplicados

atualmente, de forma que a seleção e integração pudesse ser realizada na etapa subsequente do projeto.

## **5. Revisão Bibliográfica Sistemática – Métodos e Ferramentas de Ecodesign**

A metodologia da Revisão Bibliográfica Sistemática (**Apêndice A**) foi utilizada para o levantamento dos métodos e ferramentas do ecodesign a serem integrados ao modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos.

A partir da metodologia da revisão bibliográfica sistemática, foram identificadas as bases de dados, as palavras-chave e os *strings* de pesquisa, de acordo com a determinação inicial dos objetivos e do foco do estudo. O foco de interesse da revisão sistemática realizada, isto é, o objetivo de pesquisa da revisão foi o levantamento do estado da arte dos métodos e ferramentas do ecodesign existentes. Dessa forma, a pergunta a ser respondida pela revisão sistemática foi: “Quais são os métodos e ferramentas de ecodesign existentes?”.

O alvo da revisão sistemática, de acordo com o seu contexto, pode ser explicitado pelo não atendimento das potencialidades da aplicação dos métodos e ferramentas do ecodesign, como ganhos econômicos e ambientais, devido à falta de integração com os processos de negócio da empresa, notadamente com o processo de desenvolvimento de produtos. A área de desenvolvimento de produtos, incluindo os seus desenvolvedores e designers, e a área de gestão ambiental serão as principais áreas de atuação beneficiadas pela revisão sistemática.

Os métodos e ferramentas existentes e a sua aplicabilidade no processo de desenvolvimento de produtos foram observados no contexto da revisão sistemática e trata-se dos efeitos, ou seja, dos resultados esperados ao final da revisão sistemática. Assim, as métricas utilizadas para medir o efeito como forma de medição dos resultados

da revisão sistemática, foram o número de métodos e ferramentas levantados e a incidência de publicações sobre um mesmo método ou ferramenta do ecodesign.

Os termos principais, ou palavras-chaves, que compõe a pergunta da pesquisa são: *ecodesign, design, environment, methods, tools, product, development, process, product, development, eco-design, life-cycle, life, cycle, green, engineering e strategies*. Os strings de pesquisa, ou seja, as expressões lógicas que combinam as palavras-chaves e seus sinônimos, que foram utilizadas de forma que fosse obtida a maior quantidade de estudos relevantes foram:

- *Eco-design;*
- *Design for environment;*
- *Design for the environment;*
- *Ecodesign methods;*
- *Ecodesign tools;*
- *Product development process;*
- *New product development;*
- *Sustainable product development;*
- *Life-cycle design;*
- *Life cycle design;*
- *Green product;*
- *Green design;*
- *Ecodesign strategies;*
- *Eco-design strategies;*
- *Design for life-cycle;*
- *Design for life cycle;*
- *Product design;*
- *Product development;*
- *Sustainable design;*
- *Life cycle engineering;*
- *Life-cycle engineering.*

O grupo de população observado durante a intervenção corresponde a bases de dados internacionais, em língua inglesa. O critério utilizado para avaliação das fontes de dados foi a sua abrangência internacional. As bases de dados pesquisadas durante a revisão sistemática foram Scirus; Compendex; ISI Web of Science; Research Communications for Scientists and Engineers; Scholar Google Emerald; Find Articles; Science Direct e IEEE Explore.

Deve-se salientar, entretanto, a impossibilidade de acesso a alguns estudos encontrados, devido ao fato de que essas bases de dados não são assinadas pela Escola de Engenharia de São Paulo – Universidade de São Paulo.

Realizou-se então o levantamento de estudos nas bases de dados selecionadas. O levantamento bibliográfico foi realizado no período de outubro de 2006 a junho de 2007 e obteve um total de 515 estudos, incluindo artigos, teses, dissertações, livros, etc.

O cadastro dos estudos possibilitou a realização de uma análise quanto à distribuição do ano de publicação e ao tipo de publicação dos estudos selecionados. A análise dos estudos obtidos durante a revisão sistemática, de acordo com o ano e tipo de publicação, é apresentada no **Apêndice B**. A figura 3 apresenta um exemplo da análise realizada.

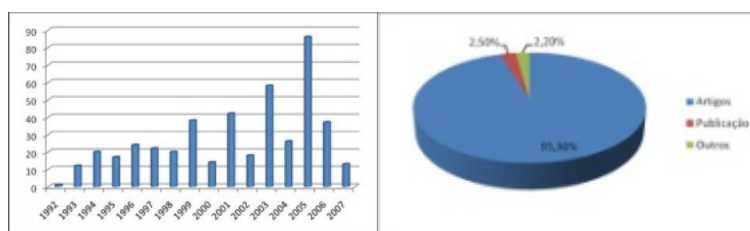


Figura 3: Exemplo da análise dos estudos obtidos durante a revisão sistemática

A seleção dos artigos levantados para leitura se deu por meio da aplicação de critérios de inclusão/exclusão de artigos. Foram selecionados aqueles que apresentavam o desenvolvimento de métodos/ferramentas, estudos de caso de sua aplicação, aplicações reais em empresas e estudos de revisão. Dessa forma, foram incluídos estudos primários qualitativos, quantitativos, estudos de caso e desenvolvimento de metodologias, métodos e ferramentas. O procedimento para seleção de estudos foi realizado por meio da leitura do resumo.

Aplicando-se os critérios de inclusão/exclusão, foram selecionados 330 estudos que tratavam de métodos e ferramentas do ecodesign. Realizou-se então uma revisão dos artigos não selecionados para garantir que artigos relevantes não tivessem sido

excluídos. Os 105 métodos e ferramentas obtidos foram então extraídos dos estudos e, com a aplicação dos critérios previamente definidos (**Apêndice C**), foi realizado o cadastro e a classificação dos métodos e ferramentas de ecodesign

Uma análise dos 105 métodos e ferramentas cadastrados e classificados em função dos critérios apresentados foi realizada e pode ser visualizada no **Apêndice D**. A figura 4 apresenta um exemplo de algumas das análises realizadas.



Figura 4: Exemplo da análise da classificação dos métodos

## 6. Integração dos Métodos e Ferramentas do Ecodesign ao Modelo de Referência

### 6.1. Seleção dos métodos e ferramentas de ecodesign

Os métodos e ferramentas do ecodesign a serem integrados ao modelo de referência para o PDP foram selecionados por meio da aplicação de filtros no cadastro dos métodos e ferramentas realizado no Microsoft Access. Esse procedimento também pode ser realizado por empresas para a integração das questões ambientais no seu PDP, de acordo com as estratégias e objetivos do negócio, selecionando aqueles métodos/ferramentas mais adequados as suas necessidades.

Os critérios considerados para a seleção dos métodos e ferramentas do ecodesign a serem integrados ao modelo de referência para o PDP foram:

- Nível de detalhamento do método/ferramenta: completo (informações completas do método/ferramenta obtidas durante a revisão);
- Possibilidade de melhorias significativas no desempenho ambiental dos produtos desenvolvidos com a aplicação desses métodos e/ou ferramentas: consideração abrangente dos aspectos ambientais;
- Dados de entrada e saída (qualitativos, quantitativos ou ambos) compatíveis com as necessidades de cada atividade/tarefa modelo;
- Tipo de ferramenta utilizada pelo método/ferramenta: checklist; guideline e matriz (optou-se pela não integração de softwares do ecodesign ao modelo, já que isso poderia inviabilizar a sua aplicação em pequenas e médias empresas, por exemplo, que não teriam recursos para adquiri-los).

Os métodos/ferramentas selecionados foram: *Design for Environmental Matrix* (DfE Matrix), *Environmental Effect Analysis* (EEA), *Life Cycle Assessment* (LCA),

*Quality Function Deployment for Environment (QFDE), Ecobenchmarking e Eco-Function Matrix, As Dez Regras de Ouro.* A classificação dos métodos selecionados em função dos critérios de classificação utilizados nesse trabalho é apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos métodos/ferramentas selecionados em função dos critérios de classificação

|                                     | <b>DfE Matrix</b>          | <b>EEA</b>            | <b>LCA</b>                          | <b>QFDE</b>                                   | <b>Ecobenchmarking</b>     | <b>Eco-Function Matrix</b>        | <b>Ten Golden Rules</b>                |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------------|--|
| Natureza do Objetivo Principal      | Comparativa                | Analítica             | Analítica e Comparativa             | Analítica e Comparativa                       | Prescritiva e Comparativa  | Comparativa                       | Prescritiva                            |
| Tipo de Ferramenta                  | Matrizes e Guidelines      | Matrizes e Guidelines | Matrizes e Softwares (uso opcional) | Matrizes                                      | Matrizes e Guidelines      | Checklists, Guidelines e Matrizes | Guidelines                             |
| Dados de Entrada                    | Qualitativo e Quantitativo | Qualitativo           | Quantitativo                        | Qualitativo e Quantitativo                    | Qualitativo e Quantitativo | Qualitativo e Quantitativo        | Qualitativo                            |
| Dados de Saída                      | Quantitativo               | Qualitativo           | Quantitativo                        | Qualitativo e Quantitativo                    | Qualitativo e Quantitativo | Quantitativo                      | Qualitativo                            |
| Tempo Demandado para Uso            | Baixo                      | Baixo                 | Alto                                | Alto  | Alto                       | Alto                              | Baixo                                  |
| Custo para Aplicação                | Baixo                      | Baixo                 | Alto                                | Baixo   | Baixo ou Alto              | Baixo                             | Baixo                                  |
| Grau de Especialização do Usuário   | Baixo                      | Alta                  | Alto                                | Alto  | Alto                       | Baixo                             | Baixo                                  |
| Nível de Maturidade                 | Case                       | Teórico               | Aplicação                           | Case  | Case                       | Case                              | Aplicação                              |
| Nível de Detalhamento               | Completo                   | Completo              | Completo                            | Completo                                      | Completo                   | Completo                          | Completo                               |
| Fases do Ciclo de Vida Consideradas | Todas                      | Todas                 | Todas                               | De acordo com o objetivo, nenhuma em especial | Não especificado           | Todas                             | Produção, transporte, uso, fim de vida |
| Origem                              | Ecodesign                  | PDP                   | Ecodesign                           | PDP   | PDP                        | Ecodesign                         | Ecodesign                              |
| Método de Avaliação Ambiental       | Não                        | Não                   | Sim                                 | Não   | Não                        | Não                               | Não                                    |

Todos os métodos e ferramentas de eco-design selecionados estão disponíveis gratuitamente e podem, com maior ou menor dificuldade, serem aplicados sem a utilização de softwares. É importante salientar nem todos os critérios de classificação foram utilizados para a seleção dos métodos e ferramentas do eco-design a serem

integrados ao modelo. Alguns deles, como natureza do objetivo principal e área de pesquisa em que foi originado, foram utilizados nesse trabalho exclusivamente para a classificação dos métodos. Assim, existem critérios exclusivamente de classificação e que podem, eventualmente e para uma necessidade específica, também auxiliar no processo de seleção dos métodos e ferramentas do ecodesign.

As descrições detalhadas dos métodos selecionados para integração ao modelo unificado são apresentadas a seguir.

#### **6.1.1. *Design for Environment Matrix (DfE Matrix)***

O *Design for Environment Matrix*, desenvolvido por Yarwood e Eagan (s/d), pode ser utilizado para a quantificação dos impactos ambientais potenciais de um produto por meio da avaliação dos aspectos ambientais envolvidos ao longo das fases do seu ciclo de vida. Os resultados obtidos pela aplicação do método podem ser utilizados para comparar o produto que está sendo desenvolvido com um produto existente (útil pra o *redesign* de produtos existentes) ou para a comparação entre alternativas de projeto para um novo produto em desenvolvimento, sendo complementar aos parâmetros econômicos, de valor do cliente e de manufaturabilidade, que também devem ser avaliados.

Os aspectos ambientais definidos pelo método estão relacionados ao consumo de materiais e energia e à geração de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões gasosas e compõem as colunas da matriz. As fases do ciclo de vida consideradas pelo método incluem pré-manufatura, manufatura, distribuição e embalagem, uso e manutenção e fim de vida e correspondem às linhas da matriz (Tabela 2).

Tabela 2: Matriz do Design for Environment

| Fase do Ciclo de Vida |                             | Aspecto Ambiental |                    |                  |                    |                  | Total |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|-------|
|                       |                             | 1                 | 2                  | 3                | 4                  | 5                |       |
|                       |                             | Materiais         | Consumo de Energia | Resíduos Sólidos | Efluentes Líquidos | Emissões Gasosas |       |
| A                     | Pre-manufatura              | (A.1)             | (A.2)              | (A.3)            | (A.4)              | (A.5)            |       |
| B                     | Manufatura                  | (B.1)             | (B.2)              | (B.3)            | (B.4)              | (B.5)            |       |
| C                     | Distribuição e Embalagem    | (C.1)             | (C.2)              | (C.3)            | (C.4)              | (C.5)            |       |
| D                     | Uso do produto e Manutenção | (D.1)             | (D.2)              | (D.3)            | (D.4)              | (D.5)            |       |
| E                     | Fim de Vida                 | (E.1)             | (E.2)              | (E.3)            | (E.4)              | (E.5)            |       |
|                       | Total                       |                   |                    |                  |                    |                  |       |

O preenchimento de cada célula da matriz (definida pelo cruzamento entre aspectos ambientais e fases do ciclo de vida do produto) é feito por meio de um sistema de pontuação guiado por 100 perguntas definidas pelo método (**Anexo 1**). A pontuação total obtida com o preenchimento de todas as células da matriz indica de forma semi-quantitativa as fases do ciclo de vida do produto objeto da análise em que ocorrem os maiores impactos ambientais e que devem, portanto, serem otimizadas pelos desenvolvedores de produtos de forma a melhorar o desempenho ambiental do produto.

A pontuação máxima sem as informações opcionais relacionadas aos fornecedores (pré-manufatura) é de 100 pontos. Considerando-se os fornecedores, a pontuação máxima é de 125 pontos.

#### Roteiro para Preenchimento da Matriz

1. Responda às questões relacionadas aos elementos de (A.1) a (A.5) da matriz com as informações dos fornecedores de componentes e matérias primas (de acordo com o questionário do Anexo 1). O preenchimento dessas células é opcional, e pode ou não ser realizado pela empresa.

2. Responda a todas as perguntas do questionário com “sim” ou “não”. Se a resposta for “sim”, o número de pontos da coluna “sim” para esta questão deve ser circulado. Se a resposta for “não”, será atribuído o valor 0 (zero) para esta questão. Caso esta questão não se aplique ao produto ou caso o produto não apresente impacto nessa área, a resposta deve ser “sim”. A pontuação de cada célula da matriz, obtida com a resposta às questões, varia de 0 a 5 pontos.
3. Preencha as células da matriz correspondentes à matriz com os valores obtidos com as respostas ao questionário.
4. Some os totais para cada fase do ciclo de vida (colunas) e para os aspectos ambientais (linhas). Os totais para cada fase do ciclo de vida e os aspectos ambientais indicam áreas importantes e áreas para melhorias em termos dos atributos ambientais de um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida.

A pontuação total da matriz é uma medida relativa dos atributos do produto e complementa os parâmetros econômicos, de valor do cliente e de manufaturabilidade que também devem ser avaliados. Os dados de referência fornecem informações adicionais para responder as questões para preenchimento da matriz, que pode ser adaptada de acordo com as necessidades dos designers.

#### **6.1.2. Environmental Effect Analysis (EEA)**

O método *Environmental Effect Analysis* (Análise do Efeito Ambiental – EEA) (LINDAHL, M; LINDAHL, M., 2000; LINDAHL, M., 2001; TINGSTROM, KARLSSON, 2001) é um processo sistemático realizado por um time multifuncional. A análise contém um número de atividades que devem ser coordenadas com as demais atividades do processo de desenvolvimento dos produtos. As diferentes atividades, preparações, inventário, análises e implementação devem ser planejadas no plano do projeto, devidamente estabelecido antes do início do projeto.

O princípio básico é listar todas as atividades que podem ter influência ambiental significativa, e para cada atividade realizar um julgamento da quantidade e seriedade de cada aspecto, assim como sugerir maneiras para realizar melhorias que podem reduzir os impactos do produto proposto. Após a implementação das ações de melhoria propostas, é realizada uma nova análise. Os impactos ambientais são então reavaliados para checar se as ações realizadas resultaram em melhorias do desempenho do produto, com uma diminuição do seu impacto ambiental total.

O EEA deve ser realizado nas fases iniciais do PDP, logo após a especificação dos requisitos. Desta maneira, é possível que o EEA influencie na especificação técnica detalhada dos requisitos do projeto. Antes de se proceder à aplicação do método, devem-se definir claramente os objetivos (por que a análise está sendo realizada e quais são os seus propósitos) e os limites e fronteiras de sua aplicação.

O formulário para a aplicação do método (Tabela 3) é dividido em quatro partes principais: cabeçário (facilitar a futura identificação da análise ambiental realizada), inventário, avaliação e ação.

Tabela 3: Formulário de preenchimento da EEA (adaptado de LINDAHL, 2001)

[illegible]

### Roteiro para Preenchimento da Matriz

1. Preparação para a aplicação do EEA
  - 1.1. Definição dos objetivos e escopo;
  - 1.2. Definição da equipe multidisciplinar;
  - 1.3. Identificação das demandas do produto;
2. Documentação da Análise Ambiental – Inventário:
  - 2.1. Preenchimento da parte “Ciclo de Vida” (começa a partir do conhecimento dos integrantes da equipe, mas deve ser incrementado):
    - 2.1.1. “Número”: estabelecimento de um número de série para cada atividade, com o objetivo de facilitar a identificação durante as análises futuras;
    - 2.1.2. “Fase do Ciclo de Vida”: identificação das diferentes fases de ciclo de vida do produto (a escolha das fases do ciclo de vida a serem inseridas depende das limitações e da extensão do EEA).
  - 2.2. Preenchimento da parte “Características Ambientais”:
    - 2.2.1. “Atividades”: identificação das atividades que causam impactos ambientais em cada fase do ciclo de vida do produto;
    - 2.2.2. “Aspecto Ambiental” e “Impacto Ambiental”: estabelecimento das influências externas ou internas no meio ambiente, causadas pela atividade humana.
3. Avaliação dos dados do inventário (avaliação e pontuação dos efeitos e impactos ambientais de acordo com a sua significância):
  - 3.1. Avaliação de três critérios dependendo da sua conformidade de acordo com a perspectiva ambiental: S = Controle de Documentos, I = Imagem Pública e O = Consequências Ambientais.

- 3.2. Cálculo do Número de Prioridade Ambiental (EPN) por meio da soma dos valores atribuídos aos três critérios citados anteriormente;
- 3.3. Baseada no julgamento relativo da seriedade e intensidade de cada efeito e no desenvolvimento de propostas para ações e julgamento do esforço necessário para a realização de cada melhoria;
- 3.4. Avaliação do critério F = Possibilidade de Melhoria, que foca no esforço em tempo, custos e possibilidades técnicas necessários para melhorar ambientalmente um sistema, subsistema ou componente. A possibilidade de melhoria é avaliada de 1 a 9, em que 1 = Nenhuma Possibilidade de Melhoria e 9 = Grande Possibilidade de Melhoria (avaliação subjetiva).
- 3.5. Identificação das atividades mais críticas, ou seja, daquelas com maior impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do produto.
4. Estabelecimento de propostas para ações e responsáveis para as atividades mais críticas identificadas na fase anterior;
5. Avaliação e implementação das propostas para ação mais adequadas; e
6. Avaliação das mudanças implementadas de acordo com os mesmos critérios utilizados anteriormente e avaliação da existência de consequências não esperadas nas demais características do produto.

#### **6.1.3. Life Cycle Assessment (LCA)**

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ou *Life Cycle Assessment* (LCA), de um produto é conceituada como uma ferramenta de gerenciamento ambiental para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto (ABNT, 2001).

A LCA é baseada nas análises de fluxo de materiais e energia para um sistema de produto e permite a divulgação dos resultados em relatórios externos, como aqueles de divulgação dos impactos ambientais causados pelos produtos de uma empresa e publicidade. Neste trabalho foi utilizada a metodologia de execução da LCA de acordo com os critérios da norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2001) que estabelece que um estudo de LCA deve incluir as fases de Definição, Objetivo e Escopo, Análise de Inventário, Avaliação de Impactos Ambientais e Interpretação (Figura 5).



Figura 5: Fases de realização da ACV

### Roteiro para a aplicação da LCA

1. Determinação do objetivo e escopo da LCA, coerentes com a aplicação pretendida e claramente definidos, incluindo as decisões que devem apoiar a avaliação:
  - 1.1. Definição da função e unidade funcional: a função do sistema é a finalidade para a qual o produto estudado se destina, ou seja, a característica do desempenho do produto; a unidade funcional é a medida do desempenho das saídas funcionais do produto;
  - 1.2. Definição do sistema de produto incluído na análise, das fronteiras do sistema do produto, do objetivo do estudo, do procedimento de alocação, dos impactos ambientais que serão considerados, dos métodos de avaliação de impactos que

serão utilizados, da interpretação a ser realizada, dos requisitos de qualidade de dados que devem ser alcançados, das considerações e limitações, do tipo de análise crítica a ser realizado, do público-alvo (quem se pretende comunicar os resultados) do estudo e do tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

A definição do escopo e objetivos pode sofrer alterações ao longo do desenvolvimento do estudo, à medida que os dados e informações são coletados. Podem surgir ainda, limitações imprevistas, restrições ou informações, que devem ser devidamente documentadas e justificadas.

## 2. Realização do inventário:

2.1. Realização da coleta dos dados de todos os fluxos de matéria e energia para avaliar as interações totais, diretas ou indiretas, do sistema de produto com o meio ambiente.

2.2. Realização dos procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Requer a identificação e a quantificação dos dados de uso de recursos e de emissões no ar, na água e no solo, associados com o sistema.

2.3. Realização de interpretações dos dados obtidos durante a realização do inventário, dependendo dos objetivos e do escopo do ACV. Os dados obtidos também constituem a entrada para avaliação do impacto do ciclo de vida.

## 3. Realização da avaliação de impacto: avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário.

3.1. Classificação, caracterização e avaliação das fases do ciclo de vida do produto e tradução das cargas ambientais em avaliações agregadas dos impactos potenciais para todas as fases do ciclo de vida do produto.

O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e os métodos dependem do objetivo e do escopo do estudo. Segundo ISO (2002) e ABNT (2004b), as etapas obrigatórias da avaliação de impacto do ciclo de vida são:

- 3.1.1. Seleção das categorias de impactos (classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados do Inventário do Ciclo de Vida podem ser associados);
- 3.1.2. Classificação dos aspectos ambientais nos seus respectivos impactos, de acordo com sua importância;
- 3.1.3. Caracterização pela valoração do aspecto, de acordo com sua magnitude em relação ao impacto.

Os elementos opcionais da avaliação do impacto ambiental incluem a normatização, a ponderação e o agrupamento.

4. Realização da fase de interpretação da LCA: crucial para assegurar que a estrutura do estudo é relevante para as aplicações desejadas, Importante como interface entre diferentes usuários.

4.1. Combinação das constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto ou, no caso de estudos de inventário, de forma consistente com o objetivo e escopo definidos, visando chegar a conclusões e recomendações.

4.2. Indicação das limitações do estudo de forma transparente.

As constatações na interpretação podem servir de subsídios para os tomadores de decisão e devem ser consistentes com o objetivo e o escopo do estudo. Segundo ABNT (2001) e ISO (1997), as decisões e as ações subsequentes podem incorporar implicações ambientais, desempenho técnico, aspectos econômicos e sociais.

#### **6.1.4. Quality Function Deployment for Environment (QFDE)**

Essa ferramenta foi desenvolvida para a incorporação dos aspectos ambientais (requisitos ambientais e especificações de engenharia ambientais) no QFD tradicional para lidar com os requisitos tradicionais da qualidade e com os requisitos ambientais simultaneamente (SAKAO et al; MASUI et al; MASUI, SAKAI, INABA, 2001; BOONKANIT, APIKAJORN SIN, 2005; MASUI et al, 2003).

Após discutir quais tipos de requerimentos e atributos de um produto devem ser considerados sob o ponto de vista ambiental, o grupo de desenvolvimento chega a um conjunto pré-definido com a voz do consumidor e as métricas de engenharia, incluindo os seus fatores de correlação. A voz do consumidor e as métricas de engenharia devem ser selecionadas de modo a abranger a maioria dos problemas ambientais do produto, de modo que os designers os considerem para incorporar as questões ambientais ao projeto e melhorar o desempenho ambiental do produto que está sendo desenvolvido.

Foi desenvolvido um conjunto genérico de voz do consumidor e métricas de engenharia ambientais aplicáveis a uma diversa gama de produtos, e que podem ser personalizáveis e subdivididos de acordo com as necessidades e especificidades de cada produto.

A voz ambiental do consumidor (VOCs) inclui: diminuição da quantidade de materiais incorporados ao produto; facilidade de transporte e manuseio durante a logística até os distribuidores e durante a logística reversa; facilidade de manufatura e montagem durante o processo de fabricação; diminuição do consumo de energia durante todo o ciclo de vida do produto; alta durabilidade, com deteriorização baixa e alta confiabilidade durante o uso; facilidade de reuso do produto ou de suas partes; facilidade de desmontagem durante a manutenção na fase de uso e no seu fim-de-vida; facilidade de limpeza do seu exterior; facilidade de trituração durante o seu fim-de-

vida; facilidade de separação dos diferentes tipos de materiais presentes nas suas partes no seu fim-de-vida; seguro para incineração, sem a emissão de substâncias tóxicas; seguro para disposição final em aterro sanitário, sem liberar substâncias tóxicas que possam ultrapassar os limites do aterro; não oferece perigo para o ambiente biológico (humano ou não) durante o processo de manufatura e uso (por exemplo, barulho, vibração, etc.); emissão segura das fábricas de manufatura do produto; e possibilidade de disposição sem requerer preocupação do usuário com a presença de substâncias tóxicas ou depleção de recursos naturais.

As métricas de engenharia ambiental incluem: o peso do produto; o volume do produto; o número de partes do produto; o número de tipos diferente de materiais no produto; a facilidade de se tornar sujo; a resistência das partes e do produto como um todo; o tempo de vida útil do produto; o consumo total de energia ao longo de todas as fases do ciclo de vida do produto; a porcentagem da utilização de materiais recicláveis; o grau de emissão de barulho, vibração e ondas eletromagnéticas durante o uso do produto; a massa de poluentes do ar gerada ao longo do ciclo de vida do produto; a massa de poluentes da água gerada ao longo do ciclo de vida do produto; a massa de poluentes do solo gerada ao longo do ciclo de vida do produto; a biodegradabilidade dos materiais e partes a serem dispostos em aterro sanitário; e a toxicidade dos materiais.

O QFDE consiste de quatro fases. As saídas principais das fases I e II são a identificação das unidades funcionais (sistemas, subsistemas e componentes que realizam determinada função) do produto que precisam ser focadas no projeto do produto quando qualidades ambientais e tradicionais são consideradas simultaneamente.

A partir da identificação das unidades funcionais mais importantes, as oportunidades de melhorias de projeto do produto são analisadas nas fases III e IV, por meio da identificação da combinação entre as métricas de engenharia e as partes

componentes dos produtos a serem melhoradas. Os efeitos da mudança de projeto são avaliadas por meio da voz do consumidor usando a informação semi-quantitativa presente nas matrizes das fases I e II. Dessa forma, as funções requisitadas para um produto para realizar essas funções são analisadas, auxiliando os engenheiros projetistas a selecionar a melhor alternativa entre àquelas encontradas para a diminuição do impacto ambiental dos produtos, de acordo com as alterações do seu projeto.

#### Roteiro para aplicação do método

1. Realização da fase I do QFDE: desdobramento das VOCs (incluindo os VOCs ambientais) em métricas de engenharia;
  - 1.1. Atribuição de pesos às VOCs baseado em pesquisas de mercado, em que “9” indica uma relação muito importante, “3” uma relação importante e “1” uma relação relativamente importante quando comparada às demais;
  - 1.2. Cálculo da força relacional por meio da realização da correlação entre as VOCs e as métricas de engenharia (os valores são atribuídos pelos projetistas, seguindo o critério de pontuação citado anteriormente);
  - 1.3. Cálculo da pontuação bruta de cada métrica de engenharia, por meio da somatória da multiplicação da ponderação dos clientes pela força relacional;
  - 1.4. Cálculo da pontuação relativa dividindo-se a pontuação bruta de cada métrica de engenharia pela soma de todas as pontuações brutas;
2. Realização da fase II do QFDE: desdobramento dos itens de métricas de engenharia em sistemas, subsistemas e componentes do produto;
  - 2.1. Preenchimento do campo da tabela “pesos relativos da fase I” com a pontuação relativa obtida na fase I;

2.2. Cálculo da pontuação bruta e pontuação relativa, seguindo o mesmo processo da fase anterior.

3. Realização da fase III do QFDE: estimativa dos efeitos de um conjunto de mudanças de projeto para cada sistema, subsistema e componente relacionando com as métricas de engenharia;
4. Realização da fase IV do QFDE: tradução dos efeitos das mudanças de projeto das métricas de engenharia nos requisitos de qualidade ambientais (VOCs ambientais)

#### **6.1.5. EcoBenchmarking**

O Ecobenchmarking é um método que foi desenvolvido para auxiliar as organizações no entendimento e desenvolvimento de uma atitude crítica relacionada aos seus próprios produtos, consolidando a conscientização ambiental nos ambientes internos e externos à empresa. Adicionalmente, importantes oportunidades de melhorias ambientais nos produtos podem ser identificadas e, quando viáveis, aplicadas.

O método é baseado em 10 passos e dependendo do contexto e das necessidades, ele pode ser ajustado de duas maneiras (BOKS; DIEHL, 2005):

- Versão *Light* x Estendida (uso de uma ou de várias planilhas): um conjunto de planilhas é anexado para documentação por meio dos passos do método. Nos casos em que existe experiência suficiente com a aplicação do EcoBenchmarking ou nos casos em que uma análise profunda não é necessária ou possível, é sugerida a utilização de uma única planilha, que fornece a opção *light* dos 10 passos necessários para a aplicação do método. Se há maior disponibilidade de tempo, informações e capital humano, a versão estendida deve ser realizada (cada passo é suportado por uma planilha).
- Informacional x Físico (baseado em testes físicos do produto ou em informações sobre ele): o método de Ecobenchmarking pode ser realizado baseado nos produtos físicos dos concorrentes que são comprados, testados,

desmontados e analisados. Nos casos em que não é possível a obtenção do produto físico (por razões de custo, por exemplo), o EcoBenchmarking pode ser também realizado baseado em uma coleção de informações sem que haja a necessidade de se comprar o produto.

A combinação entre essas opções de aplicação leva a 4 versões diferentes de EcoBenchmarking. A mais apropriada deve ser selecionada de acordo com a organização e o projeto (por exemplo, a versão light baseada em informações coletadas é mais apropriada para pequenas e médias empresas).

Cada um dos 10 passos tem um objetivo específico, uma questão específica a ser respondida e uma planilha associada. Os passos são apresentados a seguir.

#### Roteiro para aplicação do método

1. Definição dos objetivos do EcoBenchmarking
2. Seleção dos produtos e competidores para realização do EcoBenchmarking
  - 2.1. Identificação dos produtos líderes no setor;
  - 2.2. Identificação do posicionamento do produto no mesmo nicho de mercado que se deseja atingir;
  - 2.3. Consideração dos produtos que apresentam as melhores práticas;
3. Identificação da unidade funcional e dos limites do sistema do EcoBenchmarking
  - 3.1. Comparação clara entre os produtos que serão analisados por meio da descrição da função do produto, seu contexto de aplicação, o cenário do usuário e os limites do sistema, freqüentemente denominado unidade funcional;
  - 3.2. Determinação das funções do produto percebidas de acordo com o usuário;
4. Estabelecimento das áreas relacionadas ao meio ambiente a serem focadas no EcoBenchmarking;

5. Seleção das áreas foco para melhorias ambientais do produto e tradução das áreas foco em variáveis mensuráveis;
6. Organização de uma sessão de desmontagem para benchmarking físico;
  - 6.1. Elaboração de um plano de desmontagem, de acordo com a arquitetura e estrutura do produto;
7. Processamento e comparação dos dados de saída do EcoBenchmarking
  - 7.1. Agregação de todas as informações das áreas focais obtidas pela sessão de desmontagem dos produtos ou pela busca de informações acerca deles;
8. Revisão dos resultados obtidos e geração de alternativas de melhoria;
9. Avaliação e priorização das alternativas de melhoria, considerando-se a viabilidade ambiental, social, técnica, para os consumidores e financeira;
10. Implementação das alternativas de melhoria

#### **6.1.6. The Eco-Function Matrix**

O *Eco-Function Matrix*, desenvolvido por Lagerstedt (2002), promove um *trade-off* entre aspectos funcionais e ambientais do produto em desenvolvimento, visando à incorporação sistemática das propriedades funcionais necessárias ao produto ao menor custo ambiental possível. Uma plataforma de comunicação entre prioridades funcionais e impactos ambientais é estabelecida por meio da combinação do perfil ambiental funcional do produto. O Perfil Funcional descreve e avalia propriedades, áreas e atividades que estão associadas com a funcionalidade do produto e a sua viabilidade comercial. Deve ser criado independentemente do Perfil Ambiental e inclui as seguintes categorias: tempo de vida útil, tempo de uso, segurança, interação homem/máquina, economia, flexibilidade técnica, demanda ambiental e confiabilidade.

O elemento chave do Perfil Ambiental é a identificação das propriedades dos produtos que estão correlacionadas com a geração de impactos ambientais, sem, no

entanto, requerer profundo conhecimento das questões ambientais detalhadas. Os aspectos avaliados no Perfil Ambiental são: número de produtos produzidos por ano, peso e volume do produto, número de materiais diferentes, uso de materiais raros, uso de materiais tóxicos, uso de energia e fonte de energia. Pode ser aplicada em diferentes estágios do desenvolvimento do produto, de acordo com o grau de especificação e detalhamento do Perfil Ambiental e Funcional (LAGERSTEDT, 2002).

Cabe ressaltar que a determinação do perfil ambiental, assim como do funcional, deve ser feita de modo iterativo envolvendo os membros do time de desenvolvimento de produto. A presença de um profissional da área ambiental apresenta-se como uma melhor prática embora não seja pré-requisito para o uso do método. As perguntas relacionadas aos perfis funcional e ambiental da Eco-Function Matrix são apresentadas no **Anexo 2**.

#### Roteiro para preenchimento da Matriz

1. Atribua valores de 0 a 10 para todas as categorias do perfil ambiental e funcional na coluna identificada como “Valor” na tabela 4 considerando-se as características das categorias dos Perfis Ambientais e Funcionais. Quanto maior for o valor atribuído à categoria, maior é a sua importância relativa.
2. Identifique as correlações entre todas as categorias e assinale com X a correlação entre elas. As células identificadas correspondem às correlações de primeiro nível;
3. Identifique os pontos críticos para discussões de *trade-off*. As categorias que apresentam valores superiores a 5 são consideradas de grande contribuição e, portanto, os seus valores devem ser colocados em negrito.
4. Se duas categorias de grande contribuição se correlacionarem, o link correspondente é considerado forte e deve ser circulado, indicando pontos críticos que demandam uma discussão detalhada dessas categorias.

A matriz deste método (tabela 4) pode ser subdividida em três áreas principais. A área 2 revela as correlações entre as categorias do Perfil Funcional e do Perfil Ambiental e, portanto, é a área de maior interesse na matriz. As áreas 1 e 3, por sua vez, auxiliam na identificação de importantes correlações entre as categorias funcionais e ambientais entre si, nesta ordem.

Tabela 4: Eco-Function Matrix

| Tipo de Produto:     |                                   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Descrição Funcional: |                                   | A) | B) | C) | D) | E) | F) | G) | H) | I) | J) | K) | L) | M) | N) | O) | P) | Q) | R) |
|                      | Valor                             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Perfil Funcional     | A) Vida Útil                      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | B) Tempo de Uso                   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | C) Confiança                      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | D) Segurança                      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | E) Homem/Máquina                  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | F) Economia                       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | G) Flexibilidade Técnica          |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | H) Demanda Ambiental              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Perfil Ambiental     | k) Número de Produtos/Ano         |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | L) Tamanho                        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | M) Número de diferentes Materiais |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | N) Mistura de Materiais           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | O) Materiais Raros                |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | P) Materiais Tóxicos              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | Q) Energia                        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                      | R) Fontes de Energia              |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

### 6.1.7. As Dez Regras de Ouro

A ferramenta “The Ten Golden Rules” (LUTTROPP; LAGERSTEDT, 2006) guia o desenvolvedor de produtos quanto às questões gerais a serem consideradas por meio da sua aplicação de acordo com os desafios específicos de um produto particular. Consiste de um sumário de diversas linhas guias e manuais utilizados por empresas dos mais diversos setores, contendo recomendações de estratégias ambientais.

Essa ferramenta pode ser utilizada para melhorar o desempenho ambiental do conceito de um produto ou para comparar diferentes alternativas de conceitos (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006). Para que possa ser utilizada por uma determinada empresa, ela deve ser primeiramente transformada e customizada de

acordo com as características da empresa e dos seus produtos desenvolvidos. As Dez Regras de Ouro são:

- 1) Não utilize substâncias tóxicas e, quando necessário, utilize ciclos fechados para as tóxicas;
- 2) Minimize o consumo de energia e recursos na fase de produção e transporte por meio de housekeeping;
- 3) Use características estruturais e materiais de alta qualidade para minimizar o peso dos produtos desde que não haja interferência na flexibilidade, resistência a impactos ou outras prioridades funcionais;
- 4) Minimize o consumo de energia e recursos na fase de uso, especialmente para produtos com os aspectos ambientais mais significativos nessa fase;
- 5) Promova reparos e atualizações, especialmente para produtos dependentes de sistemas, como celulares, computadores e Cd players;
- 6) Promova vida longa, especialmente para produtos com impactos ambientais significantes fora da sua fase de uso;
- 7) Invista em melhores materiais, tratamentos de superfície ou arranjos estruturais para proteger o produto de sujeira, corrosão e desgaste, assegurando, dessa forma, maior vida útil ao produto;
- 8) Organize atualizações, reparos e reciclagem por meio do acesso à facilidade de acesso, identificação das partes, módulos, pontos de ruptura e manuais;
- 9) Promova a atualização, reparo e reciclagem por meio do uso de poucos, simples, reciclados, materiais não misturados e ligas; e
- 10) Use a menor quantidade possível de elementos de junção e use parafusos, adesivos, soldas, parafusos de pressão, travas geométricas, etc., de acordo com o cenário de ciclo de vida.

Essa ferramenta deve guiar todo o processo de desenvolvimento de produtos, são regras gerais a serem lembradas durante todo o desenvolvimento. Não existem roteiros de uso para essas ferramentas disponíveis, pois a sua aplicação deve se dar de forma mais diluída ao longo de todo o processo.

## **6.2. Integração dos métodos e ferramentas do ecodesign**

As fases iniciais e o projeto detalhado do modelo de referência para o PDP proposto por Rozenfeld et al (2006) (apresentado no Apêndice F) foram analisados em profundidade, oferecendo subsídios à integração. As atividades e tarefas do modelo, assim como os seus dados de entrada e saída, foram estudadas detalhadamente para verificar em quais tarefas os passos a serem seguidos para a aplicação dos métodos/ferramentas do ecodesign deveriam ser inseridos, ou ainda, se havia a necessidade de criação de tarefas e atividades para a sua realização como um todo ou de um dos seus passos.

Correlacionando-se as informações dos métodos e ferramentas do ecodesign (dados de entrada e saída) com as fases e atividades do modelo de referência para o PDP, assim como as necessidades e geração de dados de entrada e saída, foi realizada então a primeira versão da integração ao modelo. A integração dos métodos e ferramentas do ecodesign foi realizada nas tarefas<sup>1</sup> das atividades das fases de planejamento estratégico do produto, planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado do modelo unificado. A integração ao modelo de referência de cada um dos métodos selecionados, conforme mostrado acima, é apresentada detalhadamente nos itens a seguir.

---

<sup>1</sup> O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos é dividido em macro-fases, que são divididas em fases. Cada fase é composta por diversas atividades, que podem estar subdivididas em tarefas.

É importante salientar que existem várias possibilidades de integração de um método/ferramenta do ecodesign nas atividades das fases do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos:

- Um mesmo método pode ter a sua aplicação em diferentes atividades;
- Um método pode ter todos os seus passos realizados em apenas uma atividade;
- Uma mesma atividade pode utilizar diferentes passos de diversos métodos/ferramentas do ecodesign;
- Pode ainda ser necessária a criação de novas atividades de modo que um dado passo do método/ferramenta possa ser realizado.

A integração de cada um dos sete métodos selecionados é apresentada detalhadamente nos itens a seguir. Em seguida, é apresentada uma tabela (Tabela 5) com a visão macro da integração realizada.

#### **6.2.1. Design for Environment Matrix (DfE Matrix)**

Essa ferramenta tem como objetivo principal verificar se as questões ambientais foram consideradas durante o processo de desenvolvimento de produtos, como com a aplicação adequada de outros métodos/ferramentas.

O primeiro módulo para preenchimento da matrix, A – Pré-manufatura, está relacionado com uma pesquisa realizada com os fornecedores de matérias primas e SSCs quanto à sua adequação ambiental (sistema de gestão ambiental, consumo de energia, resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas). Dessa forma, todas essas questões devem ser respondidas para auxílio na tomada de decisão dos fornecedores a serem contratados. Esse questionário deve ser integrado às tarefas relacionadas à atividade seleção dos fornecedores estratégicos e de co-desenvolvimento, durante o projeto conceitual (atividade “4.8 Definir fornecedores e parcerias de co-

desenvolvimento”), além das tarefas Selecionar e Homologar fornecedores, da atividade “5.4 Desenvolver fornecedores” do projeto detalhado. Os dados de entrada a serem utilizados para o preenchimento do módulo A do DfE Matrix são informações dos fornecedores relacionadas à questão ambiental e o dado de saída é a seleção dos fornecedores, considerando-se a sua avaliação de acordo com a preocupação ambiental. Esse resultado deve ser utilizado para a seleção dos fornecedores que apresentem menor impacto ambiental nos seus produtos e processos produtivos.

O módulo B – Manufatura – está relacionado às questões de manufatura dos componentes e do produto como um todo. O módulo C – Distribuição e Embalagem – tem as suas questões relacionadas ao preenchimento das células C.1 (materiais), C.2 (consumo de energia), C.3 (resíduos sólidos), C.4 (efluentes líquidos) e C.5 (efluentes líquidos). O módulo D – Uso do Produto e Manutenção – apresenta questões relacionadas à fase de uso e manutenção do produto. Finalmente, o módulo E – Fim de Vida – lida com questões relacionadas ao fim de vida do produto.

Os módulos B, C, D e E são questionários para verificação de que se as questões ambientais foram consideradas durante o PDP. Por isso, deve ser aplicado na fase de projeto detalhado, onde a maioria das características do produto e componentes já foi determinada, mas pequenas mudanças ainda são possíveis. A integração desses módulos ao modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos se dá na tarefa Finalizar aplicação DfE, da atividade “5.8 Otimizar Produto e Processo”. Neste momento todas as informações sobre o produto já estão disponíveis e a avaliação do produto utilizando-se a DfE Matrix é possível de ser realizada.

A pontuação total da matriz é uma medida relativa dos atributos do produto e complementa os parâmetros econômicos, de valor do cliente e de manufaturabilidade que também devem ser avaliados. Os dados de referência fornecem informações

adicionais para responder às questões para preenchimento da matriz, que pode ser adaptada de acordo com as necessidades dos desenvolvedores de produtos. Esta pontuação total pode ser utilizada durante o processo de gate da fase de projeto detalhado, como um critério para o processo de tomada de decisão.

### **6.2.2. Environmental Effect Analysis (EEA)**

O EEA é realizado seguindo-se 5 passos principais, conforme citado anteriormente. A integração de cada um desses passos às fases iniciais do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos é apresentado a seguir.

- 1) Preparação (definição dos objetivos e escopo, definição da equipe multidisciplinar e identificação das demandas do produto) – este passo do método deve ser integrado à tarefa Análise do problema de projeto, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto” da fase de projeto informacional. Nessa tarefa, devem ser definidos os objetivos e escopo da análise oferecida pelo método, assim como a definição da equipe multidisciplinar a trabalhar na aplicação do método e a identificação das demandas ambientais do produto. A entrada da aplicação da fase de preparação da EEA nesta tarefa é a lista das pessoas que poderão participar da aplicação do método e ao escopo do produto revisado e a saída é a definição dos objetivos, escopo, equipe multidisciplinar e a identificação das principais demandas ambientais do produto.
- 2) Inventário (começa a partir do conhecimento dos integrantes da equipe, mas deve ser incrementado) – a integração deste passo se dá na tarefa Refinar o ciclo de vida do produto, da atividade “3.3 Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes”. Nesta tarefa são identificadas todas as fases do ciclo de vida do produto, assim como os seus clientes. Deve incluir ainda a determinação das atividades que causam maior impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do

produto, a partir do conhecimento da equipe multidisciplinar. A entrada da fase de preparação da EEA nesta tarefa é a planilha preenchida na matriz da EEA e as fases do ciclo de vida do produto e a saída é o preenchimento das colunas de fases do ciclo de vida e aspectos e impactos ambientais relacionados a cada fase.

- 3) Avaliação dos dados do inventário (baseada no julgamento relativo da seriedade e intensidade de cada efeito e no desenvolvimento de propostas para ações e julgamento do esforço necessário para a realização de cada melhoria) – este passo deve ser integrado na tarefa Identificar e analisar aspectos críticos do produto, da atividade “4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)”, da fase do projeto conceitual. A identificação da análise dos aspectos críticos será subsidiada pela identificação dos pontos críticos de impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto, evidenciados pela aplicação do método. Nesse momento, devem ser sugeridas propostas de ação para lidar e minimizar os impactos ambientais mais críticos observados. A entrada da fase de avaliação dos dados de inventário da EEA nesta tarefa é a planilha preenchida na matriz da EEA com preparação e inventário ao longo das fases do ciclo de vida do produto e a saída é o preenchimento das colunas de avaliação da severidade e importâncias dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto e sugestão de ações a serem tomadas e responsáveis.
- 4) Implementação. A avaliação das propostas para ação é realizada e se, apropriadas, são implementadas – este passo está relacionado à tarefa Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades), da atividade “4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)”, da fase do projeto conceitual. Todas as ações propostas devem ser consideradas na definição dos parâmetros principais do produto e seus componentes, de forma a diminuir o

impacto ambiental global do produto. A entrada da fase de implementação da EEA nesta tarefa é a lista das ações a serem realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto e os responsáveis pela sua implementação e a saída é a definição dos parâmetros principais do produto por meio da aplicação da fase de implementação do método.

- 5) Avaliação das mudanças implementadas e se elas causaram efeitos não esperados nas demais características do produto – este passo deve ocorrer ao final da tarefa Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades), da atividade "4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)", da fase do projeto conceitual. Caso as mudanças gerem novos pontos críticos, com outros impactos ambientais, novas ações devem ser propostas e implementadas. Trata-se de um processo iterativo até que todos os pontos críticos identificados sejam solucionados. A entrada da fase de avaliação das mudanças implementadas da EEA nesta tarefa é a lista das ações realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto a saída é a avaliação das mudanças implementadas e a proposição de novas ações se impactos ambientais críticos forem identificados.

Os três primeiros a serem realizados para a aplicação do método devem ser novamente realizados ao final da especificação de todos os SSCs e do produto como um todo, na tarefa Analisar falhas, da atividade "5.7 Avaliar SSCs, configuração e documentação do produto e processo", já que a quantidade e qualidade das informações referentes ao produto são melhores e mais detalhadas, e melhores resultados poderão ser obtidos com a sua aplicação. A entrada é a lista das pessoas que poderão participar da aplicação do método e escopo do produto revisado e a saída é a uma lista das ações a serem realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto e responsáveis.

Os dois últimos passos do método, por sua vez, devem ser realizados na tarefa Executar ações de correção de falhas, da atividade “5.8 Otimizar Produto e Processo”, de modo iterativo até que todos os pontos críticos sejam solucionados, minimizando o impacto ambiental global do produto. A entrada desta tarefa é uma lista das ações a serem realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto e responsáveis e a saída é a avaliação das mudanças implementadas e a proposição de novas ações se impactos ambientais críticos forem identificados.

### **6.2.3. Life Cycle Assessment (LCA)**

O início da aplicação da LCA se dá nas atividades do pré-desenvolvimento do modelo de referência para o PDP. Caso a empresa esteja considerando as questões ambientais pela primeira vez no ciclo do seu processo de desenvolvimento de produtos, pode ser necessário que, na tarefa Avaliar o desempenho dos produtos da atividade “1.5 Analisar o Portfólio de Produtos da Empresa”, seja realizado um estudo de LCA completo de um produto de referência determinado pela empresa (como o mais vendido, por exemplo), de forma a se determinar de forma quantitativa o impacto ambiental do produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. A aplicação da ferramenta pode possibilitar o levantamento de oportunidades de melhorias ambientais em produtos similares e alternativas para a minimização do impacto ambiental potencial do produto, além do direcionamento para possíveis mudanças no portfólio da empresa. Assim, o dado de entrada dessa tarefa é o portfólio de produtos, com todas as suas características, e a saída é a completa análise do desempenho ambiental dos produtos do portfólio, ou daqueles de referência, de acordo com os impactos ambientais potenciais gerados ao longo do seu ciclo de vida e em concordância objetivo e escopo delimitado pelo time de aplicação da ferramenta.

A tarefa Identificar novos projetos que deverão ser iniciados, da atividade “1.6 Propor mudanças no portfólio de produtos” (fase de Planejamento Estratégico do Produto), deve incluir na identificação dos novos projetos a serem iniciados a definição inicial do escopo e objetivo do estudo de LCA a ser realizado durante o processo de desenvolvimento do produto, além da definição das categorias de impacto<sup>2</sup> que serão utilizadas durante o estudo do LCA. A escolha das categorias de impacto está relacionada ao direcionamento estratégico da empresa e aos objetivos específicos da elaboração do estudo de LCA.

Na fase de Planejamento do Projeto, da macro-fase de pré-desenvolvimento, a LCA é aplicada nas seguintes tarefas e atividades:

- Definir diretrizes básicas que o produto deverá atender, da atividade “2.2 Definir escopo do produto” deve ter como entrada o objetivo e escopo iniciais estabelecidos anteriormente e como saída o refinamento de ambos, como com a definição da unidade funcional, unidade de referência, etc.

- Determinar que, quando e como as partes envolvidas precisam de informações e comunicações, da atividade “2.12 Definir plano de comunicação”. Esta tarefa deve detalhar o objetivo e escopo do LCA realizado de modo a definir como será o formato do relatório para divulgação dos resultados do LCA, assim como para quem o estudo será realizado. Tem como entrada a definição prévia do objetivo e escopo e tem como saída a definição revisada do objetivo e escopo, incluindo público alvo do estudo e formato do relatório.

- Planejar a gestão dos relacionamentos com os fornecedores, da atividade “2.13 Planejar e preparar aquisições”. Nesta atividade deve ser detalhado o escopo e objetivos

---

<sup>2</sup> Uma categoria de impacto é uma classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados do Inventário do Ciclo de Vida podem ser associados. Por exemplo, aquecimento global, ecotoxicidade, acidificação, toxicidade humana, destruição da camada de ozônio, etc.

do estudo de LCA em função da escolha dos fornecedores. É interessante considerar o critério de corte, em massa ou em energia, das substâncias que geram impactos para as categorias de impacto selecionadas, de modo que se possa definir as fronteiras do sistema. Tem como entrada a definição prévia do objetivo e escopo e tem como saída a definição revisada do objetivo e escopo, incluindo o sistema de produto e o critério de corte das substâncias.

No Projeto Informacional, as tarefas que devem ser integradas ao uso do LCA são apresentadas a seguir:

- Atualizar o escopo do produto, da atividade “3.1 Atualizar o Plano do Projeto Informacional”. Nesta tarefa novamente deve ser revisto o escopo do estudo de LCA de acordo com as possíveis mudanças no escopo do produto. Tem como entrada a definição prévia do escopo do LCA e o escopo do produto atualizado e tem como saída a definição revisada do escopo, de acordo com o escopo do produto.

- Atualizar, monitorar, valorar e definir novos indicadores de desempenho, da atividade “3.1 Atualizar o Plano do Projeto Informacional”. Nesta tarefa deve ser atualizado o escopo do estudo de LCA, definindo-se quais serão as categorias de impacto a serem consideradas no estudo, já que elas podem ser vistas como indicadores de desempenho. Tem como entrada a definição prévia do escopo do LCA atualizado e tem como saída a definição revisada do escopo, com a revisão das categorias de impacto a serem consideradas.

- Atualizar plano de comunicação, da atividade “3.1 Atualizar o Plano do Projeto Informacional”. O escopo e objetivos do estudo de LCA devem ser novamente revistos e detalhados nessa tarefa, refinando-se qual será o melhor formato do relatório de divulgação do relatório de acordo com o público alvo do estudo.

- A atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto”, deve considerar novamente a revisão e atualização do escopo e objetivos do estudo de LCA, de modo a incorporar as mudanças de acordo com àquelas realizadas no escopo do produto.

- Refinar o ciclo de vida do produto, da atividade “3.3 Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes” é a tarefa que está relacionada ao detalhamento do sistema de produto, que é definida no escopo do estudo de LCA. A entrada desta tarefa é o escopo revisado do LCA e a saída é o escopo atualizado, de acordo com o sistema de produto a ser considerado.

- Definir os clientes do projeto ao longo do ciclo de vida, da atividade “3.3 Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes” deve considerar a revisão do escopo e objetivos do estudo de acordo com a revisão dos clientes do produto ao longo do seu ciclo de vida. Tem como entrada uma lista dos clientes do ciclo de vida do produto e a definição prévia de escopo e objetivos atualizada e tem como saída o escopo e objetivos atualizados, de acordo com o refinamento do público alvo para o qual o estudo de LCA será desenvolvido.

- Definir os requisitos dos clientes, da atividade “3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto”. De acordo com os requisitos dos clientes levantados nessa tarefa deve-se, mais uma vez, revisar o objetivo e escopo do estudo de LCA em relação às categorias de impacto a serem consideradas no estudo, já que elas devem refletir o atendimento às necessidades dos clientes, como não contribuir para o aquecimento global, por exemplo. Essa tarefa tem como entrada o escopo e objetivo do estudo de LCA prévios e atualizados, e tem como saída a definição do escopo e objetivo atual de acordo com as categorias de impacto a serem analisadas pelo estudo.

- Valorar os requisitos dos clientes, da atividade “3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto” deve incluir a ponderação, um elemento opcional da fase de

avaliação de impactos ambientais do LCA. A ponderação é responsável pela atribuição de pesos, que pode ser realizada para valorar os requisitos dos clientes, identificando-se quais são as categorias de impacto mais importantes. A entrada desta tarefa é a definição atual das categorias de impacto que deverão ser consideradas no estudo, e a saída é a ponderação dessas categorias, de acordo com os requisitos dos clientes.

- Converter requisitos de clientes em expressões mensuráveis, da atividade “3.5 Definir requisitos do produto”. Esta tarefa deve ser integrada às fases de Classificação dos aspectos ambientais nos impactos de acordo com a sua importância e Caracterização pela valoração do aspecto, de acordo com a sua magnitude com relação ao impacto. Esta tarefa tem como objetivo converter os requisitos de clientes em expressões mensuráveis, como quantidade de CO<sub>2</sub> emitida, por exemplo, para satisfazer determinada necessidade. As entradas dessa tarefa são a definição das categorias de impacto a serem estudadas e os requisitos dos clientes e o resultado é a classificação e caracterização dos impactos ambientais de acordo com essas categorias.

- Hierarquizar requisitos de projeto do produto, da atividade “3.5 Definir requisitos do produto”. Essa tarefa deve incluir a Ponderação dos resultados obtidos com a classificação e caracterização dos impactos ambientais de acordo com as categorias de impacto (elemento opcional da fase de avaliação de impacto ambiental do LCA), de modo que os requisitos do produto possam ser hierarquizados de acordo com a ponderação. Assim, esta tarefa tem como entrada a classificação e caracterização dos impactos ambientais de acordo as categorias de impacto e como saída a ponderação dos resultados obtidos com a classificação e caracterização para hierarquizar os requisitos de projeto.

- Analisar restrições de projeto do produto (contrato, ambientais, legislação, normas, etc.), da atividade “3.6 Definir especificações meta do produto”. De acordo

com as restrições de projeto do produto levantadas, devem ser revistas as categorias de impacto ambiental a serem consideradas no estudo. Assim, a entrada desta tarefa é a definição prévia das categorias de impacto a serem consideradas e a saída é a definição atualizada dessas categorias de impacto.

- Elaborar o conjunto de especificações-meta do produto, da atividade “3.6 Definir especificações meta do produto”. Após a elaboração do conjunto de especificações-meta do produto, é necessário que o objetivo do estudo seja revisado em função das especificações-meta. Assim, a entrada desta tarefa é o conjunto de especificações-meta do produto e a definição prévia do objetivo do estudo e a saída é a definição atualizada do objetivo do estudo.

- Ao final da tarefa Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades), da atividade “4.6 Analisar Sistemas, Subistemas e Componentes (SSC)”, deve ser realizada a primeira versão do inventário do ciclo de vida do produto. A entrada seria os parâmetros principais do produto, as características das substâncias utilizadas de acordo com as categorias de impacto ambiental a serem analisadas pelo estudo e a saída a primeira versão do inventário do ciclo de vida para o produto.

- Analisar as concepções alternativas, da atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto”. A análise das concepções alternativas pode ser realizada por meio da aplicação das fases de avaliação de impacto e interpretação para cada concepção, tendo como base a primeira versão do inventário. É importante que os resultados sejam normatizados para facilitar a interpretação dos resultados pelos designers e tomadores de decisão, de modo que sejam identificados os aspectos ambientais que causam maior impacto ambiental de acordo com as categorias de impacto selecionada. A entrada dessa tarefa é a primeira versão do inventário e as concepções alternativas a serem analisadas,

e a saída é a análise das concepções alternativas de acordo com as categorias de impacto selecionadas e com a normatização dos resultados para facilitar a interpretação.

Finalmente, no Projeto Detalhado, a integração da LCA se dá nas tarefas:

- Completar BOM, da atividade “5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração”. Esta tarefa tem como entrada a primeira versão do inventário, que deve ser agora atualizada, já que todas as características do produto já estão identificadas e detalhadas, com dados mais robustos. O resultado é um novo inventário, mais completo do que o anterior.

- Completar BOM, da atividade “5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem” é a tarefa que tem toda a estrutura e materiais do produto identificados, assim como as suas dimensões, características, etc. Nessa tarefa deve ser elaborado o Inventário Definitivo do produto, de acordo com o objetivo e escopo do estudo de LCA. As entradas necessárias são o inventário atualizado e o BOM completo.

Finalmente, na tarefa Finalizar aplicação DFX, da atividade “5.8 Otimizar Produto e Processo” deve ser realizada as fases de avaliação de impacto e interpretação da LCA, de modo que o impacto ambiental global do produto possa ser determinado. Essa tarefa tem como entrada o inventário definitivo do produto e tem como saída a identificação dos maiores impactos ambientais causados pelo produto e a interpretação dos resultados. Nessa tarefa também deve ser gerado o relatório de comunicação dos resultados, de forma que eles possam ser devidamente divulgados para o público-alvo.

#### **6.2.4. Quality Function Deployment for Environment (QFDE)**

As matrizes da *Quality Function Deployment for Environment* (QFDE), tem a sua aplicação concentrada nas fases de projeto conceitual e projeto detalhado do PDP.

A primeira fase do QFDE trata da identificação e correlação entre a voz do consumidor e as métricas de engenharia. Deve estar integrada às seguintes tarefas e atividades do projeto conceitual:

- Coletar as necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida (por meio da identificação das necessidades ambientais dos clientes em relação ao produto que está sendo desenvolvido), da atividade “3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto”. Os dados de entrada dessa tarefa é a lista dos clientes do produto ao longo do seu ciclo de vida a serem pesquisados e os dados de saída são as necessidades ambientais dos clientes de cada fase do ciclo de vida do produto.

- Agrupar e classificar as necessidades (agrupar as necessidades semelhantes em classes para facilitar a aplicação da matriz da fase 1), da atividade “3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto”. A entrada desta tarefa são as necessidades ambientais dos clientes de cada fase do ciclo de vida do produto e a saída são as necessidades ambientais agrupadas em classes semelhantes.

- Definir os requisitos dos clientes (traduzir as necessidades dos clientes em requisitos dos clientes) da atividade “3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto”. Essa tarefa tem como entradas as necessidades ambientais dos clientes agrupadas em classes semelhantes e como saída a definição dos requisitos dos clientes.

- Valorar os requisitos dos clientes (avaliação dos requisitos identificados na tarefa anterior), da atividade “3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto”. A entrada desta tarefa são os requisitos dos clientes e a saída é a avaliação dos requisitos dos clientes, com o conseqüente preenchimento das linhas na matriz da fase I do QFDE.

- Converter requisitos de clientes em expressões mensuráveis, da atividade “3.5 Definir requisitos do produto”. As entradas desta tarefa são os requisitos ambientais dos

clientes valorados e as saídas são as especificações das métricas de engenharia ambientais do produto.

- Analisar e classificar os requisitos do produto da atividade “3.5 Definir requisitos do produto”. As entradas desta tarefa são as especificações das métricas de engenharia ambientais e a saída é a análise e classificação dos requisitos do produto.

- Hierarquizar requisitos de projeto do produto, da atividade “3.5 Definir requisitos do produto”. A entrada desta tarefa é a análise e classificação dos requisitos do produto e a saída é a hierarquização dos requisitos de projeto do produto.

- Valorar requisitos do produto, da atividade “3.6 Definir especificações meta do produto”. A entrada desta tarefa é a hierarquização dos requisitos de projeto do produto e a saída é a valoração dos requisitos ambientais do produto.

Ao final da aplicação da primeira matriz do QFDE na fase do projeto informacional, é possível o estabelecimento das correlações entre os requisitos dos clientes e as métricas de engenharia, o que proporciona a identificação dos pontos críticos a serem observados no produto.

A segunda fase do QFDE, por sua vez, deve estar integrada à tarefa Identificar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC), da atividade “4.5 Definir arquitetura para o produto”, já que esta fase trata da correlação entre as métricas de engenharia e as partes e componentes do produto que está sendo desenvolvido e tem como resultado a análise das partes e componentes mais críticos, e que devem ser melhorados.

A terceira fase do QDFE, que analisa os efeitos das melhorias aplicadas aos componentes e partes do produto, deve ser integrada à tarefa Analisar as concepções alternativas da atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto”, do projeto conceitual. Esta tarefa tem como entrada as concepções do produto e como saída a análise das melhorias aplicadas aos SSCs das diferentes concepções.

Complementariamente, a quarta fase do QFDE deve ser aplicada na próxima tarefa dessa mesma atividade, Selecionar concepções mais adequadas, auxiliando na escolha das concepções para o produto que está sendo desenvolvido. A saída dessa tarefa é a avaliação dos efeitos da mudança por meio da voz do consumidor usando a informação semi-quantitativa presente nas matrizes das fases I e II (dados de entrada).

#### **6.2.5. EcoBenchmarking**

A aplicação desse método se dá principalmente em dois momentos principais da fase de projeto informacional do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, em que produtos similares dos concorrentes são pesquisados para obterem-se informações importantes acerca do seu projeto e soluções para questões ambientais, melhorando o desempenho ambiental dos produtos.

O método deve ser integrado às tarefas Analisar tecnologias disponíveis e necessárias e Pesquisar produtos concorrentes e similares, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto”. Na primeira tarefa, o objetivo do uso do método do ecobenchmarking é identificar tecnologias ambientalmente corretas que estão sendo utilizadas pelos concorrentes nos produtos e que podem trazer melhoria do desempenho ambiental. A entrada para o ecobenchmarking nesta tarefa é uma lista dos produtos que podem ser utilizados para a análise das tecnologias e a saída é o resultado do ecobenchmarking com uma lista das tecnologias que podem ser potencialmente utilizadas para o produto em desenvolvimento. Da mesma forma, a tarefa Pesquisar produtos concorrentes e similares tem como entrada uma lista dos produtos que podem ser utilizados para o benchmarking e a saída é uma lista com todas as oportunidades de melhoria observadas durante a aplicação do método.

Valorar os requisitos dos clientes, da atividade “3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto”, é a tarefa em que a definição dos requisitos dos clientes é

finalizada. É realizado um benchmarking entre os produtos existentes no mercado, que concorreriam com o produto em desenvolvimento. Verifica-se então se esses produtos possuem os requisitos levantados. Com isso, pode-se evitar que se desenvolva um produto com “qualidade exagerada”. Isto é, se um requisito do cliente for muito difícil de ser atendido, pois os custos associados são elevados, e nenhum concorrente também o atende, então a empresa pode decidir estar melhor do que os concorrentes, porém não atender completamente os desejos dos clientes. A entrada para o ecobenchmarking nesta tarefa é uma lista dos produtos concorrentes e similares existentes no mercado e a saída é uma lista com os requisitos dos clientes atendidos totalmente ou parcialmente pelos produtos concorrentes.

Analisar perfil técnico e de mercado, da atividade “3.6 Definir especificações meta do produto” é uma tarefa que também deve considerar a realização do ecobenchmarking, já que as especificações possuem uma natureza evolucionária e são informações que podem mudar constantemente. Os fatores que podem levar às mudanças nas especificações são mudanças nas prioridades dos consumidores durante o desenvolvimento do produto em função de mudanças no ambiente de negócios; emergência de novos competidores, etc.; mudanças no ambiente no qual o produto atuará, tornando necessárias as mudanças nas especificações para manter a compatibilidade; além de a organização que usará o produto poder mudar sua estrutura e processos, resultando em mudanças nas especificações que o produto deverá atender. A entrada para o ecobenchmarking nesta tarefa é uma lista dos produtos similares recém lançados no mercado e a saída é uma lista dos requisitos e especificações dos produtos obtidos com o ecobenchmarking.

#### 6.2.6. The Eco-Function Matrix

A integração do método *Eco-Function Matrix* se dá no projeto conceitual, mas uma versão mais detalhada pode ser aplicada também durante a fase de projeto detalhado do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos.

As informações acerca do Perfil Funcional, para preenchimento das células correspondentes na matriz, devem ser obtidas por meio da sua aplicação nas tarefas Identificar as funções do produto, Estabelecer a função global e Estabelecer estruturas funcionais alternativas, da atividade “4.2 Modelar funcionalmente o produto”, da fase de Projeto Conceitual. Nestas tarefas, as informações referentes ao tempo de vida útil do produto, tempo de uso, confiabilidade do produto, segurança, interação homem/máquina, economia, flexibilidade técnica e demanda ambiental já estão disponíveis, ainda que de maneira qualitativa e não muito aprofundada, para o preenchimento da matriz. A saída desta tarefa deve ser a definição do perfil funcional do produto.

As células referentes ao Perfil Ambiental do produto podem ser respondidas por meio da integração do questionário à tarefa Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades), da atividade “4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)”. Ao final dessa tarefa, as informações relacionadas à produção esperada anual do produto, peso e volume aproximados, número e tipos de materiais diferentes, consumo de energia durante o uso e fontes de energia já estão disponíveis. A saída da desta tarefa deve ser o Perfil Ambiental do produto.

Finalmente, a correlação entre o Perfil Ambiental e o Perfil Funcional para cada concepção gerada (por meio do preenchimento da área 2 da matriz), a análise dos resultados obtidos com a correlação, a determinação dos pontos críticos e *trade-offs* entre aspectos funcionais e ambientais e a discussão profunda das providências a serem tomadas para contornar a situação deve ocorrer nas tarefas Analisar as concepções

alternativas, Valorar as concepções alternativas e Selecionar concepções mais adequadas, da atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto”.

### **6.2.7. As Dez Regras de Ouro**

A primeira regra de ouro “Não utilize substâncias tóxicas e, quando necessário, utilize ciclos fechados para as tóxicas” pode ser incorporada à fase de Projeto Informacional nas seguintes tarefas:

- Analisar tecnologias disponíveis e necessárias, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto”. Nesta tarefa é necessário pesquisar tecnologias que possibilitem a eliminação do uso de substâncias tóxicas tanto no processo produtivo quanto na composição do produto. Adicionalmente, devem ser pesquisadas tecnologias que possibilitem o fechamento do ciclo quando o uso de substâncias tóxicas não pode ser eliminado. A entrada da aplicação da regra 1 nesta tarefa é uma lista das tecnologias disponíveis e necessárias e saída é uma relação das tecnologias que possibilitem a não utilização de substâncias tóxicas no processo produtivo e no produto, além de tecnologias que possibilitem utilizar ciclos fechados para as substâncias tóxicas.
- Pesquisar padrões/normas, patentes e legislação, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto”. Nesta tarefa, devem ser também pesquisadas legislações e normas pertinentes quantos às substâncias tóxicas proibidas ou em vias de proibição. A entrada da aplicação da regra 1 nesta tarefa é uma relação dos padrões/normas, patentes e legislação que se aplicam ao produto e a saída é uma lista das substâncias tóxicas banidas ou em vias de proibição.
- Analisar restrições de projeto do produto (contrato, ambientais, legislação, normas, etc.), da atividade “3.6 Definir especificações meta do produto”. As restrições impostas por contratos, legislações ambientais específicas, normas, etc. quanto ao

uso de substâncias tóxicas tanto no produto quanto no processo produtivo devem ser levantadas e alternativas a essas substâncias restritas devem ser levantadas. A entrada da aplicação da regra 1 nesta tarefa é uma lista com as substâncias de uso restrito de acordo com contratos, questões ambientais e normas e a saída é uma lista das substâncias alternativas às tóxicas de uso restrito.

As tarefas que devem incorporar a primeira regra no Projeto Conceitual são:

- A atividade “4.10 Planejar o processo de manufatura macro/Definir plano macro de processo” deve incorporar a preocupação com o uso de substâncias tóxicas na identificação de possíveis processos produtivos dos SSCs do produto que está sendo desenvolvido. Devem-se pesquisar processos alternativos que não utilizem substâncias tóxicas ou que usem substâncias menos tóxicas, além de maneiras de fechar o ciclo do uso das substâncias tóxicas. A entrada da aplicação da regra 1 nesta tarefa é uma lista de processos que utilizam substâncias tóxicas e a saída é uma lista de processos alternativos que não utilizem substâncias tóxicas ou fechem o ciclo.

A incorporação da primeira regra se dá no Projeto Detalhado nas seguintes atividades:

- Selecionar fornecedores, da atividade “5.4 Desenvolver fornecedores”, deve considerar esta regra já que se devem selecionar fornecedores que, preferencialmente, não utilizem substâncias tóxicas durante o seu processo produtivo e/ou na composição dos SSCs fornecidos. A entrada da aplicação da regra 1 nesta tarefa é uma lista de todos os fornecedores disponíveis e seus processos e a saída é uma lista dos fornecedores que não utilizam substâncias tóxicas ou fechem o ciclo das tóxicas.
- A tarefa Avaliar amostras dos SSC recebidos, da atividade “5.4 Desenvolver fornecedores”, deve avaliar os SSCs recebidos quanto à sua composição, para

assegurar-se de que eles não contem substâncias tóxicas na sua composição ou que o plano de fim de vida do componente inclua a recuperação dessas substâncias para fechar o ciclo. A entrada da aplicação da regra 1 nesta tarefa é uma análise das amostras dos SSCs recebidos pelos fornecedores e a saída é uma lista dos SSCs classificados quanto à presença de substâncias tóxicas na sua composição.

- As tarefas Selecionar/Especificar máquinas e equipamentos, da atividade “5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem”, e Projetar Máquinas e Equipamentos, da atividade “5.6 Projetar recursos de fabricação” devem considerar a seleção de máquinas e equipamentos que possibilitem o fechamento do ciclo das substâncias tóxicas utilizadas durante o processo produtivo. A entrada da aplicação da regra 1 nestas tarefas é uma lista das máquinas e equipamentos disponíveis e a saída é uma lista contendo as máquinas e equipamentos selecionados e projetados que possibilitem o fechamento do ciclo das substâncias tóxicas.

- A atividade “5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem” trata-se de um detalhamento da atividade “4.10 Planejar o processo de manufatura macro/Definir plano macro de processo” do projeto Conceitual. Deve assegurar que, caso haja o uso de substâncias tóxicas durante as diversas etapas do processo produtivo, seja considerado um processo de fechamento do ciclo, de forma que a substância não contamine o meio ambiente e os funcionários do chão de fábrica.

- Identificar os elementos críticos, da atividade “5.10 Projetar embalagem” deve considerar o uso de tintas não tóxicas para a impressão das informações gráficas na embalagem, assim como o uso de adesivos não tóxicos. A entrada da aplicação da regra 1 nesta tarefa é relação das substâncias disponíveis para a impressão das embalagens e a saída é uma lista de substâncias não tóxicas que podem ser usadas para a impressão da embalagem.

- Definir plano de descarte e Definir plano de reciclagem, da atividade “5.11 Planejar fim de vida do produto”, deve considerar esta primeira regra de ouro à medida que, caso substâncias tóxicas tenham sido utilizadas na composição do produto, estas devem ser recolhidas do mercado de forma adequada e encaminhadas à reciclagem/recuperação ou adequada disposição final, de acordo com a toxicidade da substância utilizada. A entrada da aplicação da regra 1 nestas tarefas é a especificação e estrutura dos SSCs que apresentam substâncias tóxicas na sua composição e a saída é um plano de recuperação e reciclagem/reuso das substâncias tóxicas presentes na composição do produto no seu fim-de-vida.

A segunda regra de ouro “Minimize o consumo de energia e recursos na fase de produção e transporte por meio de housekeeping” pode ser incorporada à fase de Projeto Informacional na tarefa Analisar tecnologias disponíveis e necessárias, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto”, à medida que a eficiência energética das tecnologias a serem selecionadas deve ser um critério decisivo na escolha das tecnologias a serem adotadas. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é a lista das tecnologias disponíveis e necessárias e a saída é uma lista das tecnologias que apresentem maior eficiência energética.

Na fase de Projeto Conceitual, a regra pode ser incorporada na atividade “4.10 Planejar o processo de manufatura macro/Definir plano macro de processo”, já que essa atividade deve identificar os possíveis processos de fabricação dos SSCs, dando-se preferência aos processos que tenham o menor consumo de energia possível, além de uma organização da fábrica por housekeeping de forma que o gasto de energia com transporte interno seja o menor possível. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é a lista dos processos de fabricação disponíveis e o layout do chão de fábrica e a

saída é uma lista dos processos de fabricação que apresentam maior eficiência energética e o melhor layout obtido aplicando-se as técnicas de housekeeping.

Durante o projeto detalhado, a segunda regra pode ser integrada às seguintes tarefas:

- Levantar informações de custos, tempo, capacidades e competências para o desenvolvimento/fornecimento dos SSCs, da atividade “5.3 Decidir por fazer ou comprar SSC”. A segunda regra deve ser aqui incorporada à medida que a compra de SSCs de fornecedores implica no consumo de energia para o transporte destes componentes até a linha de montagem do produto. Dessa forma, deve ser considerada a distância entre o fornecedor e a linha de montagem, o tipo de combustível utilizado e o modo de transporte, que influenciam no consumo de energia. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é a distância percorrida pelo fornecedor para a distribuição dos SSCs, tipo de transporte e combustível utilizado e a saída é uma análise do consumo de energia do sistema de distribuição dos fornecedores, com conseqüente menor impacto ambiental no transporte até a montagem.

- Definir e Seqüenciar operações, tarefas da atividade “5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem” estão relacionadas à aplicação das práticas de housekeeping de modo que o consumo de energia dentro da fábrica, de uma operação para a outra, seja o menor possível. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é o layout inicial para manufatura e montagem do produto e a saída é o layout otimizado com a aplicação das técnicas de housekeeping para a minimização do consumo de energia no transporte interno.

- A atividade “5.8 Otimizar Produto e Processo” deve incluir a segunda regra já que a otimização do processo deve implicar também na otimização do consumo de energia. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é a descrição detalhada do

processo de produção e a saída é uma lista contendo o levantamento de alternativas para a melhoria da eficiência energética do processo.

- Avaliar a distribuição do produto: transporte e entrega, da atividade “5.10 Projetar embalagem” deve considerar o melhor tipo de transporte e combustível a ser utilizado para a distribuição do produto. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é uma lista com as alternativas de meio de transporte e combustível e a saída é a seleção do sistema de distribuição adequado.

- Planejar processo de embalagem, da atividade “5.10 Projetar embalagem” também deve ter a preocupação com a otimização do consumo de energia e housekeeping durante o processo de fabricação. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é a descrição detalhada do processo de fabricação da embalagem e a saída é uma lista contendo o levantamento das alternativas para a melhoria da eficiência energética do processo.

- Definir plano de retirada do mercado, da atividade “5.11 Planejar fim de vida do produto” deve especificar qual será a estratégia de logística reversa a ser utilizada para recuperação do produto e envio posterior para reciclagem, remanufatura, reuso ou disposição final, de acordo com as estratégias adotadas durante o desenvolvimento do produto. A entrada da aplicação da regra 2 nesta tarefa é uma lista com as alternativas de meio de transporte e combustível para logística reversa dos produtos e a saída é a seleção do sistema de logística reserva adequada.

A terceira regra de ouro, “Use características estruturais e materiais de alta qualidade para minimizar o peso dos produtos desde que não haja interferência na flexibilidade, resistência a impactos ou outras prioridades funcionais”, deve ser integrada às seguintes tarefas do projeto conceitual:

- Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades), da atividade “4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)”, deve considerar a terceira regra já que é responsável pela definição dos parâmetros principais do produto, que define forma, materiais, dimensões e capacidades do produto. Devem ser adotadas características estruturais que possibilitem a minimização do peso dos componentes e do produto como um todo. A entrada da aplicação da regra 3 nesta tarefa é uma definição dos parâmetros principais dos produtos e a saída é a adequação dos parâmetros de forma a usarem materiais e estruturas para minimizar o peso.

- 4.7 Definir ergonomia e estética deve também considerar o uso de características estruturais que minimizem o peso do produto, melhorando a sua ergonomia e de forma que a estética seja inovadora. A entrada da aplicação da regra 3 nesta tarefa é uma definição da ergonomia e estética dos produtos e a saída é a adequação da ergonomia e estética para minimizar o peso. A entrada da aplicação da regra 3 nesta tarefa é uma definição da ergonomia e estética dos produtos e a saída é a adequação da ergonomia e estética de acordo com as características estruturais e materiais selecionados.

- Projetar embalagem, da atividade “5.10 Projetar embalagem”. A embalagem a ser projetada também deve fazer uso de características estruturais e materiais de alta qualidade de modo que haja uma minimização do consumo de material ao mesmo tempo em que ocorre uma otimização da resistência da embalagem a impactos que possam danificar os produtos. A entrada da aplicação da regra 3 nesta tarefa é o projeto inicial da embalagem e a saída é a adequação do projeto inicial acordo com as características estruturais e materiais selecionados, para minimizar o peso da embalagem.

A quarta regra de ouro, “Minimize o consumo de energia e recursos na fase de uso, especialmente para produtos com os aspectos ambientais mais significativos nessa fase” é aplicada nas seguintes tarefas:

- Analisar tecnologias disponíveis e necessárias, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto” deve pesquisar as tecnologias que minimizem o consumo de energia e recursos na fase de uso, de acordo com a função do produto. A entrada da aplicação da regra 4 nesta tarefa é a lista das tecnologias disponíveis e necessárias e a saída é uma lista das tecnologias que possibilitam a minimização do consumo de energia e recursos durante o uso.
- A atividade “4.4 Desenvolver as alternativas de solução para o produto” deve considerar o desenvolvimento de alternativas que possibilitem a minimização do consumo de energia e recursos na fase de uso. A entrada da aplicação da regra 4 nesta tarefa é a lista das possíveis alternativas de solução e a saída é uma lista das alternativas que possibilitam a minimização do consumo de energia e recursos durante o uso.
- A atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto” deve considerar o critério de minimização do consumo de energia e recursos na fase de uso na seleção da concepção do produto, de forma a minimizar o impacto ambiental do produto nessa fase. A entrada da aplicação da regra 4 nesta tarefa é a lista das possíveis concepções do produto e a saída é uma lista das concepções do produto que possibilitam a minimização do consumo de energia e recursos durante o uso.
- Atividade “5.8 Otimizar Produto e Processo”, em que considerações acerca do consumo de energia e recursos do produto durante a fase de uso devem ser tomadas de modo que haja uma otimização dos inputs ao produto para a realização de uma determinada função. A entrada da aplicação da regra 4 nesta tarefa é o projeto do

produto e a saída é a otimização do projeto minimizando o consumo de energia e recursos na fase de uso.

“Promova reparos e atualizações, especialmente para produtos dependentes de sistemas, como celulares, computadores e Cd players”, a regra de ouro número cinco, é aplicada no projeto conceitual como segue:

- Identificar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC) e Definir integração entre SSCs das alternativas de projeto, da atividade “4.5 Definir arquitetura para o produto”, já que é nessa atividade que são considerados os aspectos de projetos modulares, que facilitam a intercambialidade entre componentes de diferentes produtos, facilitando a sua substituição para reparos e atualizações. Além disso, é nessa atividade que são consideradas as questões de facilidade de montagem e desmontagem do produto. A entrada da aplicação da regra 5 nesta tarefa é a identificação e integração dos SSCs e a saída é a escolha dos SSCs de modo que reparos e atualizações sejam facilitados.

- A atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto” deve considerar o critério de minimização do consumo de energia e recursos na fase de uso na seleção da concepção do produto, de forma a minimizar o impacto ambiental do produto nessa fase. A entrada da aplicação da regra 5 nesta tarefa é a lista das possíveis concepções do produto e a saída é uma lista das concepções do produto que possibilitam a minimização do consumo de energia e recursos durante o uso.

- Analisar as concepções alternativas, da atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto” deve considerar a facilidade de um produto ser reparado e atualizado na escolha da concepção a ser detalhada na próxima fase do modelo. A entrada da aplicação da regra 5 nesta tarefa é a lista das concepções alternativas e a saída é lista das concepções que possibilitam promover reparos e atualizações.

No projeto detalhado, a regra de ouro número cinco deve ser integrada à:

- A atividade “5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração” deve considerar esta regra já que durante o cálculo, desenho, especificação das tolerâncias e integração entre os SSCs, devem ser consideradas as possibilidades de promoção de reparos e atualizações do produto durante a fase de uso e também no seu fim de vida. A entrada da aplicação da regra 5 nesta tarefa é a lista dos SSCs a serem criados e detalhados e a saída é a criação e o detalhamento de SSCs que promovam a facilidade de reparos e atualizações.

A sexta regra de ouro, “Promova vida longa, especialmente para produtos com impactos ambientais significantes fora da sua fase de uso”, está inserida no projeto informacional como segue:

- A atividade “4.5 Definir arquitetura para o produto” deve considerar esta regra à medida que o aumento da vida útil do produto está intimamente relacionado à sua arquitetura. A entrada da aplicação da regra 6 nesta são as alternativas de solução do produto e a saída é a definição das arquiteturas que maximizem a vida útil do produto.
- Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades), da atividade “4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)”. A definição dos parâmetros principais deve considerar as características que podem propiciar maior vida útil ao produto, como o uso de materiais resistentes. A entrada da aplicação da regra 6 nesta tarefa é a definição dos parâmetros principais do produto e a saída é a seleção dos parâmetros críticos para a promoção da vida útil ao produto.
- 4.7 Definir ergonomia e estética, de modo que o design estético não fique ultrapassado com o passar do tempo, o que pode fazer com que o produto seja

substituído por outro mais novo antes do fim do seu tempo de vida útil. A entrada da aplicação da regra 6 nesta tarefa é a definição da ergonomia e estética do produto e a saída é a seleção de ergonomias e estéticas que possibilitem aumentar o tempo de vida útil do produto, como materiais de alta qualidade que não faça com que o produto pareça velho ainda que em bom funcionamento e estética inovadora, que não fique ultrapassada com o passar do tempo.

- A atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto” deve considerar o critério de minimização do consumo de energia e recursos na fase de uso na seleção da concepção do produto, de forma a minimizar o impacto ambiental do produto nessa fase. A entrada da aplicação da regra 6 nesta tarefa é a lista das possíveis concepções do produto e a saída é uma lista das concepções do produto que possibilitam maior tempo de vida útil.

- A atividade “5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração” deve considerar esta regra já que durante o cálculo, desenho, especificação das tolerâncias e integração entre os SSCs, devem ser consideradas os parâmetros e materiais que levam ao prolongamento da vida útil do produto. A entrada da aplicação da regra 6 nesta tarefa é a lista dos SSCs a serem criados e detalhados e a saída é a criação e o detalhamento de SSCs que tenham maior vida útil.

“Invista em melhores materiais, tratamentos de superfície ou arranjos estruturais para proteger o produto de sujeira, corrosão e desgaste, assegurando, dessa forma, maior vida útil ao produto”, a sétima regra de ouro, tem a sua aplicação nas seguintes tarefas do projeto conceitual:

- Analisar tecnologias disponíveis e necessárias, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto” deve pesquisar as tecnologias de tratamento de superfície que protejam o produto de sujeira, corrosão e desgaste, assegurando vida

mais longa ao produto. A entrada da aplicação da regra 7 nesta tarefa é a lista das tecnologias disponíveis e necessárias e a saída é uma lista das tecnologias que possibilitam maior proteção superficial do produto.

- Identificar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC) e Definir integração entre SSCs das alternativas de projeto, da atividade “4.5 Definir arquitetura para o produto”, já que essas tarefas são responsáveis pela definição dos materiais que serão utilizados nos SSCs, assim como os arranjos estruturais adotados. A entrada da aplicação da regra 7 nesta tarefa é a lista dos materiais disponíveis e estruturas desenvolvidas e a saída é uma lista dos materiais e estruturas que possibilitam maior vida útil ao produto.

- A atividade 4.7 Definir ergonomia e estética deve ser beneficiada com a aplicação desta regra, já que haverá maior proteção do produto à sujeira, corrosão e desgaste, melhorando a experiência visual que o usuário tem com o produto. A entrada da aplicação da regra 7 nesta tarefa é a definição das alternativas de ergonomia e estética e a saída é uma lista de ergonomias e estéticas que utilizem materiais e estruturas que possibilitem maior vida útil ao produto.

- 4.10 Planejar o processo de manufatura macro/Definir plano macro de processo, já que devem ser pesquisados tratamentos de superfície que possibilitem maior proteção do produto, aumento o seu tempo de vida útil. A entrada da aplicação da regra 7 nesta tarefa são as tecnologias para tratamento de superfície disponíveis e a saída é uma lista das tecnologias de tratamento de superfície mais adequadas.

As tarefas de aplicação desta regra no contexto do projeto detalhado são:

- A atividade “5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração” deve considerar esta regra já que é nesta atividade que são definidos os materiais a serem utilizados nos SSCs e a arquitetura dos SSCs e do produto, assim como os arranjos

estruturais a serem utilizados. A entrada da aplicação da regra 7 nesta tarefa é a lista dos SSCs a serem criados e detalhados e a saída é a criação e o detalhamento de SSCs que tenham maior vida útil.

- Planejar processo de fabricação macro e Atualizar BOM, da atividade “5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem”, onde serão definidos os processos de tratamento de superfície a serem utilizados e os materiais e arranjos estruturais a serem utilizados. A entrada da aplicação da regra 7 nesta tarefa é a lista dos tratamentos de superfícies mais adequados e saída é a seleção do tratamento de superfície mais adequado, de acordo com as características do produto.

A oitava regra de ouro, “Organize atualizações, reparos e reciclagem por meio do acesso à habilidade, rotulagem, módulos, pontos de ruptura e manuais” tem a sua aplicação focada como segue: As principais tarefas do projeto conceitual que têm essa regra incorporada são Identificar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC) e Definir integração entre SSCs das alternativas de projeto, da atividade “4.5 Definir arquitetura para o produto”, já que é nessa atividade que a arquitetura do produto é definida, com os SSCs a serem agrupados e os seus elementos de junção. Além disso, é nessa atividade que são feitas as escolhas quanto à modularização do produto.

- A atividade “4.4 Desenvolver as alternativas de solução para o produto” deve considerar esta regra à medida que as alternativas de solução devem conter soluções que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem dos materiais utilizados. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa é a lista das possíveis alternativas de solução e saída é a lista das alternativas de solução que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem.

- Identificar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC) e Definir integração entre SSCs das alternativas de projeto, da atividade “4.5 Definir arquitetura para o

produto”, já que essas tarefas são responsáveis pela estrutura e integração entre os SSCs. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa são as alternativas de solução do produto e a saída é uma lista das alternativas de projeto que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem.

- Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades), da atividade “4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)” deve considerar esta regra à medida que esses parâmetros interferem na capacidade de atualização, reparos e reciclagem do produto. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa são definições dos parâmetros principais e a saída é a seleção dos parâmetros críticos para possibilitar atualizações, reparos e reciclagem. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa é a definição dos parâmetros principais dos produtos e a saída é a seleção dos parâmetros críticos para possibilitar atualizações, reparos e reciclagem.

- A atividade “4.9 Selecionar a concepção do produto” deve considerar a regra 8 já que devem ser selecionadas as concepções de produto que apresentem maior facilidade de atualizações, reparo e reciclagem. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa é a lista das concepções do produto geradas e a saída é uma lista das concepções que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem.

- A atividade “5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração” deve considerar esta regra já que é nesta atividade que são criados e detalhados os SSCs e a integração entre eles, assim como os arranjos estruturais a serem utilizados. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa é a lista dos SSCs a serem criados e detalhados e a saída é a criação e o detalhamento de SSCs que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem.

- Definir as formas e as sinalizações das embalagens do produto, da atividade “5.10 Projetar embalagem”, já que a embalagem deve fornecer informações gráficas de fácil interpretação quanto às estratégias de fim de vida a serem adotadas para um produto. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa é a estrutura do produto e interligação entre as partes e a saída é a criação de formas e detalhamento para comunicação na embalagem.

- Definir plano de descarte e Definir plano de reciclagem, da atividade “5.11 Planejar fim de vida do produto”, também são tarefas que devem considerar as opções de atualizações, reparos e reciclagem, de modo que a melhor estratégia seja adotada em função de determinado cenário. A entrada da aplicação da regra 8 nesta tarefa é a especificação e estrutura dos SSCs que possibilitam atualizações, reparos e reciclagem e a saída é a definição do plano de descarte e reciclagem.

A nona regra de ouro, “Promova a atualização, reparo e reciclagem por meio do uso de poucos, simples, reciclados, materiais não misturados e ligas” está relacionada principalmente com os materiais escolhidos para comporem os SSCs.

- 5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração é uma atividade crucial, em que são definidas as características detalhadas dos SSCs e dos elementos de junção entre eles. A entrada da aplicação da regra 9 nesta tarefa é a lista dos SSCs a serem criados e detalhados e a saída é o detalhamento de SSCs que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem.

- 5.11 Planejar fim de vida do produto também está intimamente relacionada com essa regra, já que devem ser estabelecidas as estratégias a serem adotadas para a atualização, reparo, reciclagem/reuso ou remanufatura de determinado componente ou módulo. A entrada da aplicação da regra 9 nesta tarefa é a especificação e

estrutura dos SSCs que possibilitam atualizações, reparos e reciclagem e a saída é a definição do plano de reciclagem

Finalmente, a décima regra de ouro, “Use a menor quantidade possível de elementos de junção e use parafusos, adesivos, soldas, parafusos de pressão, travas geométricas, etc., de acordo com o cenário de ciclo de vida” deve estar totalmente integrada às atividades:

- Analisar tecnologias disponíveis e necessárias, da atividade “3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto”, já que devem ser pesquisadas tecnologias que permitam que a junção entre os elementos do produto seja facilmente removida para a realização de reparo, manutenção ou separação das partes para reuso, reciclagem, remanufatura e/ou disposição final. A entrada da aplicação da regra 10 nesta tarefa é a lista das tecnologias disponíveis e necessárias e a saída é a lista das tecnologias que usem a menor quantidade possível de elementos de junção.
- A atividade “4.4 Desenvolver as alternativas de solução para o produto” deve considerar esta regra à medida que as alternativas de solução necessitem de maior ou menor quantidade de elementos de junção. A entrada da aplicação da regra 10 nesta tarefa é a lista das possíveis alternativas de solução e a saída é a lista das alternativas de projeto que usem a menor quantidade possível de elementos de junção.
- Definir integração entre SSCs das alternativas de projeto é a tarefa em que esta regra tem maior aplicação e que deve considerá-la integralmente, já que é nessa tarefa que é definida a integração entre os SSCs das alternativas de projeto. A entrada da aplicação da regra 10 nesta tarefa é a identificação dos SSCs e a saída é a lista das alternativas de projeto que usem a menor quantidade possível de elementos de junção.

- Integrar os SSCs, da atividade “5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração” deve considerar esta regra, já que é a tarefa responsável pela definição final da integração entre os SSCs. A entrada da aplicação da regra 10 nesta tarefa é lista das alternativas de projeto que usem a menor quantidade possível de elementos de junção e a saída é a definição dos elementos de junção a serem utilizados.

### **6.3. Visão Macro da Integração**

A visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, assim como os dados de entrada e saída para cada um dos métodos/ferramentas do ecodesign, é apresentada na tabela 5. As tarefas que não apresentavam integração com os métodos e ferramentas do ecodesign selecionadas foram suprimidas da tabela, mas as atividades foram mantidas.

Tabela 5: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continua)

| <b>Planejamento Estratégico de Produtos</b>                          |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Atividades e Tarefas   | Método/ferramenta do Ecodesign                                   | Entradas do Método/Ferramenta                   | Saídas do Método/Ferramenta  |
| 1.1 Definir escopo da revisão do Plano Estratégico de Negócios (PEN) |  |   |  |
| 1.2 Planejar atividades para a revisão do PEN                        |  |   |  |
| 1.3 Consolidar Informações sobre tecnologia e mercado                |  |   |  |
| 1.4 Revisar o PEN  |  |   |  |
| 1.5 Analisar o Portfólio de Produtos da Empresa                      | LCA completo   | Dados sobre os produtos do portfólio da empresa | Resultados do LCA para os produtos do portfólio ou para um produto de referência selecionado |
| 1.6 Propor mudanças no portfólio de produtos                         |  |   |  |
| Identificar novos projetos que deverão ser iniciados                 | LCA - Objetivo, escopo e categorias de impacto para cada projeto | Projetos a serem iniciados                      | Escopo, objetivo e categorias de impacto de LCA iniciais para cada projeto                   |
| 1.7 Verificar viabilidade do portfólio de produtos                   |  |   |  |
| 1.8 Decidir início do planejamento de um produto do portfólio        |  |   |  |
| <b>Planejamento do Projeto</b>                                       |  |   |  |
| Atividades e Tarefas   | Método/ferramenta do Ecodesign                                   | Entradas do Método/Ferramenta                   | Saídas do Método/Ferramenta  |
| 2.1 Definir interessados do projeto                                  |  |   |  |
| 2.2 Definir escopo do produto  |  |   |  |
| Definir diretrizes básicas que o produto deverá atender              | LCA - Objetivo e Escopo  | Objetivo e escopo iniciais do estudo de LCA     | Atualização do objetivo e escopo do estudo de LCA  |
| 2.3 Definir escopo do projeto  |  |   |  |
| 2.4 Detalhar escopo do projeto                                       |  |   |  |
| 2.5 Adaptar o modelo de referência                                   |  |   |  |
| 2.6 Definir atividades e sequência                                   |  |   |  |
| 2.7 Preparar cronograma  |  |   |  |

Tabela 6: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

| 2.8 Avaliar riscos  |  |  |   |
|---|--|--|---|
| 2.9 Preparar orçamento do projeto   |  |  |   |
| 2.10 Analisar a viabilidade econômica do projeto  |  |  |   |
| 2.11 Definir indicadores de desempenho  |  |  |   |
| 2.12 Definir plano de comunicação   |  |  |   |
| Determinar que, quando e como as partes envolvidas precisam de informações e comunicações | LCA - Objetivo e Escopo  | Definição prévia do objetivo e escopo                              | Definição revisada do objetivo e escopo, incluindo público alvo do estudo e formato do relatório  |
| 2.13 Planejar e preparar aquisições   |  |  |   |
| Planejar a gestão dos relacionamentos com os fornecedores                                 | LCA - Objetivo e Escopo  | Definição prévia do objetivo e escopo                              | Definição revisada do objetivo e escopo, incluindo o sistema de produto e o critério de corte das substâncias                                 |
| 2.14 Preparar Plano de Projeto  |  |  |   |
| Projeto Informacional   |  |  |   |
| Atividades e Tarefas  | Método/ferramenta do Ecodesign   | Entradas do Método/Ferramenta                                      | Saídas do Método/Ferramenta   |
| 3.1 Atualizar o Plano do Projeto Informacional  |  |  |   |
| Atualizar o escopo do produto   | LCA - Atualizar Escopo   | Definição prévia do escopo do LCA e o escopo do produto atualizado | Definição revisada do escopo, de acordo com o escopo do produto   |
| Atualizar, monitorar, valorar e definir novos indicadores de desempenho                   | LCA - Atualizar escopo (categorias de impacto)                         | Definição prévia do escopo do LCA atualizado                       | Definição revisada do escopo, com a revisão das categorias de impacto a serem consideradas  |
| Atualizar plano de comunicação  | LCA - Atualizar Objetivo e Escopo (formato do relatório, público alvo) | Definição prévia do escopo e objetivos do LCA atualizado           | Definição revisada do escopo e objetivos, com o melhor formato do relatório de divulgação do relatório de acordo com o público alvo do estudo |

Tabela 7: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| 3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto    | LCA - Revisar e Atualizar o escopo do ACV | Definição prévia do escopo do LCA atualizado   | Definição revisada do escopo, de acordo com as mudanças no escopo do produto   |
|  | EEA (Preparação)                          | Lista das pessoas que poderão participar da aplicação do método e escopo do produto revisado | Definição dos objetivos, escopo, equipe multidisciplinar e a identificação das demandas do produto                                   |
| Análise do problema de projeto                 |   |  |  |
| Analisar tecnologias disponíveis e necessárias | Regra 1 - The Ten Golden Rules            | Lista das tecnologias disponíveis e necessárias  | Lista de tecnologias que não utilizem substâncias tóxicas e/ou fechem o ciclo das tóxicas  |
|  | Regra 2 - The Ten Golden Rules            | Lista das tecnologias disponíveis e necessárias  | Lista das tecnologias que apresentam maior eficiência energética   |
|  | Regra 4 - The Ten Golden Rules            | Lista das tecnologias disponíveis e necessárias  | Lista das tecnologias que possibilitam a minimização do consumo de energia e recursos durante o uso                                  |
|  | Regra 7 - The Ten Golden Rules            | Lista das tecnologias disponíveis e necessárias  | Lista das tecnologias que possibilitam maior proteção superficial do produto   |
|  | Regra 10 - The Ten Golden Rules           | Lista das tecnologias disponíveis e necessárias  | Lista das tecnologias que usem a menor quantidade possível de elementos de junção  |
|  | EcoBenchmarking                           | Lista dos produtos que podem ser utilizados para a análise das tecnologias                   | Resultado do ecobenchmarking com uma lista das tecnologias que podem ser potencialmente utilizadas para o produto em desenvolvimento |

Tabela 8: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Pesquisar padrões / normas, patentes e legislação                  | Regra 1 - The Ten Golden Rules                  | Relação dos padrões/normas, patentes e legislação que se aplicam ao produto                          | Lista das substâncias tóxicas banidas ou em vias de proibição  |
| Pesquisar produtos concorrentes e similares                        | EcoBenchmarking                                 | Lista dos produtos que podem ser utilizados para o benchmarking                                      | Lista com todas as oportunidades de melhoria observadas durante a aplicação do método                                  |
| 3.3 Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes      |   |  |  |
| Refinar o ciclo de vida do produto                                 | EEA (Inventário)                                | Planilha preenchida na matriz da EEA e as fases do ciclo de vida do produto                          | Preenchimento das colunas de fases do ciclo de vida e aspectos e impactos ambientais relacionados a cada uma das fases |
|  | LCA - Refinar o escopo (sistema de produto)     | Definição prévia do escopo do LCA atualizado   | Definição revisada do escopo, com a revisão do sistema de produto  |
| Definir os clientes do projeto ao longo do ciclo de vida           | LCA - Refinar escopo e objetivos (público alvo) | Lista dos clientes do ciclo de vida do produto e a definição prévia de escopo e objetivos atualizada | Escopo e objetivos atualizados, de acordo com o refinamento do público alvo  |
| 3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto              |   |  |  |
| Coletar as necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida | QFDE - fase 1                                   | Lista dos clientes do produto ao longo do seu ciclo de vida a serem pesquisados                      | Necessidades ambientais dos clientes de cada fase do ciclo de vida do produto  |
| Agrupar e classificar as necessidades                              | QFDE - fase 1                                   | Necessidades ambientais dos clientes de cada fase do ciclo de vida do produto                        | Necessidades ambientais dos clientes agrupadas em classes semelhantes  |
| Definir os requisitos dos clientes                                 | QFDE - fase 1                                   | Necessidades ambientais dos clientes agrupadas em classes semelhantes                                | Definição dos requisitos ambientais dos clientes   |

Tabela 9: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | LCA - Revisar objetivo e escopo (categorias de impacto)  | Escopo e objetivo do estudo de LCA prévios e atualizados                                  | Definição do escopo e objetivo atual de acordo com as categorias de impacto a serem analisadas pelo estudo         |
| Valorar dos requisitos dos clientes                        | EcoBenchmarking  | Lista dos produtos concorrentes e similares existentes no mercado                         | Lista com os requisitos ambientais dos clientes atendidos totalmente ou parcialmente pelos produtos concorrentes   |
|  | QFDE - fase 1  | Requisitos ambientais dos clientes  | Valoração dos requisitos ambientais dos clientes   |
|  | LCA - Ponderação (fase opcional da avaliação de impacto)   | Definição atual das categorias de impacto que deverão ser consideradas no estudo          | ponderação das categorias de impacto, de acordo com os requisitos dos clientes                                     |
| 3.5 Definir requisitos do produto                          |  |   |  |
| Converter requisitos de clientes em expressões mensuráveis | QFDE - fase 1  | Requisitos ambientais dos clientes valorados  | Especificações das métricas de engenharia ambientais do produto  |
|  | LCA - Classificação e Caracterização das categorias de impacto (fase 2 e 3 obrigatórias da avaliação de impacto) | Definição das categorias de impacto a serem estudadas e os requisitos dos clientes        | Classificação e caracterização dos impactos ambientais de acordo com as categorias de impacto                      |
| Analisar e classificar os requisitos do produto            | QFDE - fase 1  | Especificações das métricas de engenharia ambientais do produto                           | Análise e classificação dos requisitos do produto  |
| Hierarquizar requisitos de projeto do produto              | QFDE - fase 1  | Análise e classificação dos requisitos do produto   | Hierarquização dos requisitos de projeto do produto  |
|  | LCA - Ponderação das categorias de impacto   | Classificação e caracterização dos impactos ambientais de acordo as categorias de impacto | Ponderação dos resultados obtidos com a classificação e caracterização para hierarquizar os requisitos de projeto. |
| 3.6 Definir especificações meta do produto                 |  |   |  |

Tabela 10: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Valorar requisitos do produto   | QFDE - fase 1   | Hierarquização dos requisitos de projeto do produto  | Valoração dos requisitos ambientais do produto                                   |
| Analisar perfil técnico e de mercado  | Ecobenchmarking   | Lista dos produtos similares recém lançados no mercado   | Lista dos requisitos e especificações dos produtos obtidos com o ecobenchmarking |
| Analisar restrições de projeto do produto (contrato, ambientais, legislação, normas, ...) | Regra 1 - The Ten Golden Rules                                    | Lista com as substâncias de uso restrito de acordo com contratos, questões ambientais e normas | Lista das substâncias alternativas às tóxicas de uso restrito                    |
|   | LCA - Definir as categorias de impacto ambiental mais apropriadas | Definição prévia das categorias de impacto a serem consideradas                                | Definição atualizada das categorias de impacto a serem consideradas              |
| Elaborar o conjunto de especificações-meta do produto                                     | LCA- Refinar o objetivo em função das especificações-meta         | Conjunto de especificações-meta e a definição prévia do objetivo do estudo                     | Definição atualizada do objetivo do estudo                                       |
| 3.7 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto                               |   |  |  |
| 3.8 Avaliar fase  |   |  |  |
| 3.9 Aprovar fase  |   |  |  |
| 3.10 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas                         |   |  |  |
| <b>Projeto Conceitual</b>   |   |  |  |
| Atividades e Tarefas  | Método/ferramenta do Ecodesign                                    | Entradas do Método/Ferramenta  | Saídas do Método/Ferramenta  |
| 4.1 Atualizar o Plano do Projeto Conceitual   |   |  |  |
| 4.2 Modelar funcionalmente o produto  |   |  |  |

Tabela 11: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Analisar as especificações-meta do produto                | Eco-Functional Matrix - Perfil Funcional | Informações referentes ao tempo de vida útil, tempo de uso, segurança, confiabilidade do produto, interação homem/máquina, economia, flexibilidade técnica e demanda ambiental | Determinação do perfil funcional do produto  |
| Identificar as funções do produto                         |  |  |  |
| Estabelecer a função global                               |  |  |  |
| Estabelecer estruturas funcionais alternativas            |  |  |  |
| 4.3 Desenvolver princípios de solução para as funções     |  |  |  |
| 4.4 Desenvolver as alternativas de solução para o produto | Regra 4 - The Ten Golden Rules           | Lista das possíveis alternativas de solução  | Lista das alternativas que possibilitam a minimização do consumo de energia e recursos durante o uso |
|   | Regra 8 - The Ten Golden Rules           | Lista das possíveis alternativas de solução  | Lista das alternativas de solução que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem                |
|   | Regra 10 - The Ten Golden Rules          | Lista das possíveis alternativas de solução  | Lista das alternativas de projeto que usem a menor quantidade possível de elementos de junção        |
| 4.5 Definir arquitetura para o produto                    | Regra 5 - The Ten Golden Rules           | Identificação e integração dos SSCs  | Lista dos SSCs que possibilitam facilidade de reparos e atualizações                                 |
|   | Regra 6 - The Ten Golden Rules           | Alternativas de solução do produto   | Definição das arquiteturas que maximizem a vida útil do produto.                                     |
|   | Regra 7 - The Ten Golden Rules           | Lista dos materiais disponíveis e estruturas desenvolvidas   | Lista dos materiais e estruturas que possibilitam maior vida útil ao produto                         |

Tabela 12: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|   |                                 |  |   |
|---|---------------------------------|--|---|
|   | Regra 8 - The Ten Golden Rules  | Alternativas de solução do produto   | Lista das alternativas de projeto que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem   |
| Identificar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)                     | QFDE - fase 2                   | Componentes do produto e métricas de engenharia  | Análise das partes e componentes mais críticos e que devem ser melhorados   |
| Definir integração entre SSCs das alternativas de projeto                 | Regra 10 - The Ten Golden Rules | Identificação dos SSCs   | Lista das alternativas de projeto que usem a menor quantidade possível de elementos de junção.  |
| 4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)                    |                                 |  |   |
| Identificar e analisar aspectos críticos do produto                       | EEA (Avaliação)                 | Planilha preenchida na matriz da EEA com preparação e inventário ao longo das fases do ciclo de vida | Preenchimento das colunas de avaliação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida e sugestão de ações a serem tomadas e responsáveis |
| Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades) | Regra 3 - The Ten Golden Rules  | Definição dos parâmetros principais dos produtos   | Adequação dos parâmetros de forma a usarem materiais e estruturas para minimizar o peso   |
|   | Regra 6 - The Ten Golden Rules  | Definição dos parâmetros principais dos produtos   | Seleção dos parâmetros críticos para a promoção da vida útil ao produto   |
|   | Regra 8 - The Ten Golden Rules  | Definição dos parâmetros principais dos produtos   | Seleção dos parâmetros críticos para possibilitar atualizações, reparos e reciclagem  |
|   | EEA (Implementação)             | Lista das ações a serem realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto e responsáveis    | Definição dos parâmetros principais do produto por meio da aplicação da fase de implementação do método                                     |

Tabela 13: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | EEA (Avaliação das Mudanças)             | Lista das ações realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto   | Avaliação das mudanças implementadas e a proposição de novas ações se impactos ambientais críticos forem identificados |
|  | Eco-Functional Matrix - Perfil Ambiental | Informações relacionadas à produção esperada anual do produto, peso e volume aproximados, número e tipos de materiais diferentes, consumo de energia durante o uso e fontes de energia | Perfil Ambiental do produto  |
|  | LCA - Inventário                         | Parâmetros principais do produto e as características das substâncias utilizadas de acordo com as categorias de impacto ambiental  | Primeira versão do inventário do ciclo de vida para o produto  |
| 4.7 Definir ergonomia e estética                           | Regra 3 - The Ten Golden Rules           | Definição das alternativas de ergonomia e estética do produto  | Adequação da ergonomia e estética de acordo com as características estruturais e materiais selecionados                |
|  | Regra 6 - The Ten Golden Rules           | Definição das alternativas de ergonomia e estética do produto  | Seleção de ergonomias e estéticas que possibilitem aumentar o tempo de vida útil do produto                            |
|  | Regra 7 - The Ten Golden Rules           | Definição das alternativas de ergonomia e estética do produto  | Lista de ergonomias e estéticas que utilizem materiais e estruturas que possibilitem maior vida útil ao produto        |
| 4.8 Definir fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento | DfE Matrix (Módulo A)                    | Informações dos fornecedores relacionadas à questão ambiental  | Seleção dos fornecedores   |

Tabela 14: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|                                       |   |   |  |
|---------------------------------------|---|---|--|
| 4.9 Selecionar a concepção do produto | Regra 4 - The Ten Golden Rules  | Lista das concepções do produto geradas                                       | Lista das concepções do produto que possibilitam a minimização do consumo de energia e recursos durante o uso  |
|                                       | Regra 6 - The Ten Golden Rules  | Lista das concepções do produto geradas                                       | Lista das concepções do produto que possibilitam maior tempo de vida útil  |
|                                       | Regra 8 - The Ten Golden Rules  | Lista das concepções do produto geradas                                       | Lista das concepções que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem   |
|                                       | Eco-Functional Matrix - Correlação entre o Perfil Ambiental e o Perfil Funcional, | Perfil Ambiental e Perfil Funcional das concepções                            | Determinação dos pontos críticos e <i>trade-offs</i> entre aspectos funcionais e ambientais  |
| Analisar as concepções alternativas   | Regra 5 - The Ten Golden Rules  | Lista das concepções alternativas   | Lista das concepções que possibilitam promover reparos e atualizações  |
|                                       | QFDE - fase 3   | Lista das concepções alternativas do produto                                  | Análise das melhorias aplicadas a componentes e partes dos produtos das diferentes concepções alternativas   |
|                                       | LCA - Primeiro avaliação de impacto e normalização; Interpretação                 | Primeira versão do inventário e as concepções alternativas a serem analisadas | Análise das concepções alternativas de acordo com as categorias de impacto selecionadas e com a normalização dos resultados para facilitar a interpretação |

Tabela 15: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

| Selecionar concepções mais adequadas   | QFDE - fase 4                  | Voz do consumidor usando a informação semi-quantitativa presente nas matrizes das fases I e II | Avaliação dos efeitos da mudanças de design do produto, de acordo com as melhorias aplicadas                                  |
|--|--------------------------------|--|---|
| 4.10 Planejar o processo de manufatura macro/Definir plano macro de processo | Regra 1 - The Ten Golden Rules | Lista de processos que utilizam substâncias tóxicas  | Lista de processos alternativos que não utilizem substâncias tóxicas ou fechem o ciclo.                                       |
|  | Regra 2 - The Ten Golden Rules | Lista dos processos de fabricação disponíveis e o layout do chão de fábrica                    | Lista dos processos de fabricação com maior eficiência energética e o melhor layout de acordo com as técnicas de housekeeping |
|  | Regra 7 - The Ten Golden Rules | Tecnologias para tratamento de superfície disponíveis  | Lista das tecnologias de tratamento de superfície mais adequadas  |
| 4.11 Atualizar estudo de viabilidade econômica                               |                                |  |   |
| 4.12 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto                 |                                |  |   |
| 4.13 Avaliar fase  |                                |  |   |
| 4.14 Aprovar fase  |                                |  |   |
| 4.15 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas            |                                |  |   |
| Projeto Detalhado  |                                |  |   |
| Atividades e Tarefas   | Método/Ferramenta do Ecodesign | Entradas do Método/Ferramenta  | Saídas do Método/Ferramenta   |
| 5.1 Atualizar o Plano do Projeto Detalhado                                   |                                |  |   |
| 5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração                       | Regra 5 - The Ten Golden Rules | Lista dos SSCs a serem criados e detalhados  | Criação e detalhamento de SSCs que promovam a facilidade de reparos e atualizações  |
|  | Regra 6 - The Ten Golden Rules | Lista dos SSCs a serem criados e detalhados  | Criação e detalhamento de SSCs que tenham maior vida útil   |

Tabela 16: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|  |                                 |   |   |
|--|---------------------------------|---|---|
|  | Regra 7 - The Ten Golden Rules  | Lista dos SSCs a serem criados e detalhados   | Criação e detalhamento de SSCs que tenham maior vida útil                                 |
|  | Regra 8 - The Ten Golden Rules  | Lista dos SSCs a serem criados e detalhados   | Detalhamento de SSCs que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem                  |
|  | Regra 9 - The Ten Golden Rules  | Lista dos SSCs a serem criados e detalhados   | Detalhamento de SSCs que possibilitem atualizações, reparos e reciclagem                  |
| Integrar os SSCs   | Regra 10 - The Ten Golden Rules | Lista das alternativas de projeto que usem a menor quantidade possível de elementos de junção                 | Definição dos elementos de junção a serem utilizados                                      |
| Completar BOM  | LCA - Atualizar Inventário      | Primeira versão do inventário   | Inventário atualizado   |
| 5.3 Decidir por fazer ou comprar SSC   |                                 |   |   |
| Levantar informações de custos, tempo, capacidades e competências para o desenvolvimento/fornecimento dos SSCs | Regra 2 - The Ten Golden Rules  | Distância percorrida pelo fornecedor para a distribuição dos SSCs, tipo de transporte e combustível utilizado | Análise do consumo de energia do sistema de distribuição dos fornecedores                 |
| 5.4 Desenvolver fornecedores   |                                 |   |   |
| Selecionar fornecedores  | Regra 1 - The Ten Golden Rules  | Lista dos fornecedores disponíveis e seus processos produtivos  | Lista dos fornecedores que não utilizam substâncias tóxicas ou fechem o ciclo das tóxicas |
|  | DfE Matrix (Módulo A )          | Informações dos fornecedores relacionadas à questão ambiental   | Avaliação dos fornecedores de acordo com a preocupação ambiental                          |
| Enviar/atualizar especificações do produto   |                                 |   |   |
| Avaliar amostras dos SSC recebidos   | Regra 1 - The Ten Golden Rules  | Análise das amostras dos SSCs recebidos pelos fornecedores  | Lista dos SSCs classificados quanto à presença de substâncias tóxicas na sua composição   |

Tabela 17: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Homologar fornecedores  | DfE Matrix (Módulo A)                              | Avaliação dos fornecedores de acordo com a preocupação ambiental                             | Seleção dos fornecedores  |
| 5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem                    | -  | -  |   |
| Planejar processo de fabricação macro                               | Regra 7 - The Ten Golden Rules                     | Lista dos tratamentos de superfícies mais adequados  | Seleção do tratamento de superfície mais adequado, de acordo com as características do produto              |
| Definir / Avaliar componente em bruto                               |  |  |   |
| Definir e Sequenciar operações                                      | Regra 2 - The Ten Golden Rules                     | Layout inicial para manufatura e montagem do produto   | Layout otimizado com a aplicação das técnicas de housekeeping   |
| Selecionar / Especificar máquinas e equipamentos                    | Regra 1 - The Ten Golden Rules                     | Lista das máquinas e equipamentos disponíveis  | Lista das máquinas e equipamentos que possibilitem o fechamento do ciclo das substâncias tóxicas            |
| Atualizar BOM   | LCA - Inventário Definitivo                        | Inventário Atualizado e BOM atualizado   | Inventário definitivo   |
| 5.6 Projetar recursos de fabricação                                 |  |  |   |
| Projetar Máquinas e Equipamentos                                    | Regra 1 - The Ten Golden Rules                     | Lista das máquinas e equipamentos a serem projetados   | Lista das máquinas e equipamentos projetados que possibilitem o fechamento do ciclo das substâncias tóxicas |
| 5.7 Avaliar SSCs, configuração e documentação do produto e processo |  |  |   |
| Analisar falhas   | EEA detalhado (Preparação, Inventário e Avaliação) | Lista das pessoas que poderão participar da aplicação do método e escopo do produto revisado | Lista das ações a serem realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto e responsáveis           |
| 5.8 Otimizar Produto e Processo                                     | Regra 2 - The Ten Golden Rules                     | Descrição detalhada do processo produtivo de fabricação e montagem                           | Lista com o levantamento de alternativas para a melhoria da eficiência energética do processo               |

Tabela 18: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Regra 4 - The Ten Golden Rules                         | Projeto do produto   | Otimização do projeto minimizando o consumo de energia e recursos na fase de uso   |
| Finalizar aplicação DfX                                       | DfE Matrix   | Informações detalhadas sobre o processo de desenvolvimento do produto e as características detalhadas do produto | Medida relativa dos atributos do produto e verificação da adequada aplicação dos demais métodos/ferramentas do ecodesign, com aumento do desempenho ambiental do produto |
|   | LCA - Avaliação de impacto e Interpretação             | Inventário definitivo do produto   | Identificação dos maiores impactos ambientais causados pelo produto, interpretação dos resultados e relatório de comunicação dos resultados                              |
| Executar ações de correção de falhas                          | EEA detalhado (Implementação e Avaliação das Mudanças) | Lista das ações a serem realizadas para diminuição do impacto ambiental do produto                               | Avaliação das mudanças implementadas e a proposição de novas ações se impactos ambientais críticos forem identificados   |
| 5.9 Criar material de suporte do produto                      |  |  |  |
| 5.10 Projetar embalagem                                       |  |  |  |
| Avaliar a distribuição do produto: transporte e entrega       | Regra 2 - The Ten Golden Rules                         | Lista com as alternativas de meio de transporte e combustível  | Seleção do sistema de distribuição adequado  |
| Definir as formas e as sinalizações das embalagens do produto | Regra 8 - The Ten Golden Rules                         | Estrutura do produto e interligação entre as partes  | Criação de formas e detalhamento para comunicação na embalagem   |
| Identificar os elementos críticos                             | Regra 1 - The Ten Golden Rules                         | Relação das substâncias disponíveis para a impressão das embalagens  | Lista de substâncias não tóxicas que podem ser usadas para a impressão da embalagem  |

Tabela 19: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|                                      |                                |   |  |
|--------------------------------------|--------------------------------|---|--|
| Projetar embalagem                   | Regra 3 - The Ten Golden Rules | Projeto inicial da embalagem  | Adequação do projeto inicial de acordo com as características estruturais e materiais selecionados, para minimizar o peso da embalagem |
| Planejar processo de embalagem       | Regra 2 - The Ten Golden Rules | Descrição detalhada do processo de fabricação da embalagem                              | Lista com o levantamento das alternativas para a melhoria da eficiência energética do processo   |
| 5.11 Planejar fim de vida do produto |                                |   |  |
| Definir plano de retirada do mercado | Regra 2 - The Ten Golden Rules | Lista com as alternativas de meio de transporte e combustível para logística reversa    | Seleção do sistema de logística reserva adequada, com menor gasto de energia no transporte   |
| Definir plano de descarte            | Regra 1 - The Ten Golden Rules | Especificação e estrutura dos SSCs que apresentam substâncias tóxicas na sua composição | Plano de descarte do produto contendo substâncias tóxicas  |
|                                      | Regra 8 - The Ten Golden Rules | Especificação e estrutura dos SSCs que possibilitam atualizações, reparos e reciclagem  | Definição do plano de descarte   |
| Definir plano de reciclagem          | Regra 1 - The Ten Golden Rules | Especificação e estrutura dos SSCs que apresentam substâncias tóxicas na sua composição | Plano de recuperação e reciclagem/reuso das substâncias tóxicas presentes na composição do produto no seu fim-de-vida                  |
|                                      | Regra 8 - The Ten Golden Rules | Especificação e estrutura dos SSCs que possibilitam atualizações, reparos e reciclagem  | Definição do plano de reciclagem   |
|                                      | Regra 9 - The Ten Golden Rules | Especificação e estrutura dos SSCs que possibilitam atualizações, reparos e reciclagem  | Definição do plano de reciclagem   |

Tabela 20: Visão macro da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign às tarefas e atividades do modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos, dados de entrada e dados de saída (continuação)

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 5.12 Testar e Homologar produto                                   |  |  |  |
| 5.13 Enviar documentação do produto a parceiros                   |  |  |  |
| 5.14 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto      |  |  |  |
| 5.15 Avaliar fase   |  |  |  |
| 5.16 Aprovar fase   |  |  |  |
| 5.17 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas |  |  |  |

## 7. Conclusões

Na primeira etapa do projeto, foi dada maior ênfase à sistematização dos métodos e ferramentas do ecodesign, visto que nessa fase do projeto a correta sistematização dos dados levantados era de extrema importância para o resultado final. Os resultados da análise do cadastro dos métodos e ferramentas permitiram algumas conclusões importantes:

- Os métodos/ferramentas de natureza analítica são mais utilizados do que aqueles de natureza prescritiva e comparativa;
- Há uma tendência para o uso de matrizes, ferramenta que contém uma escala pré-definida para a avaliação do desempenho ambiental de produtos por meio da relação entre dois aspectos relevantes, nos métodos/ferramentas do ecodesign;
- Há um equilíbrio entre a natureza dos dados de entrada e saída necessários para a aplicação de um método/ferramenta;
- A origem dos métodos/ferramentas é principalmente na área do ecodesign, ou da grande área de gestão ambiental. Aqueles com origem no PDP foram, na sua maioria, adaptados de ferramentas tradicionais da área;
- Apesar do intenso desenvolvimento teórico e da validação experimental dos métodos/ferramentas, ainda não há a aplicação regular pelas empresas;
- A maioria dos métodos/ferramentas é apresentado nos estudos de forma sucinta;
- Percebe-se a grande preocupação com os aspectos ambientais relacionados a materiais e energia;
- A maioria dos métodos/ferramentas consideram todas as fases do ciclo de vida de um produto;
- 83% dos métodos/ferramentas não possuem um método de avaliação de impacto ambiental;

- A maioria dos métodos/ferramentas necessita de alta especialização do usuário.

Na segunda fase do projeto a ênfase foi dada à seleção e integração dos métodos e ferramentas do ecodesign ao modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos. Durante o desenvolvimento do trabalho, percebeu-se a necessidade da realização da integração dos métodos e ferramentas do ecodesign não só nas fases de Projeto Informacional e Projeto Conceitual, como pensado inicialmente (fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, de acordo com a literatura), mas também na fase de Planejamento Estratégico do Produto, Planejamento do Projeto e Projeto Detalhado. Apesar da grande importância da consideração das questões ambientais no pré-desenvolvimento, percebeu-se que os métodos/ferramentas do ecodesign direcionadas ao planejamento estratégico ainda são poucos e não consolidados, o que limitou a sua aplicação na integração proposta. Contrariamente, percebeu-se a possibilidade de aplicação de diversos métodos/ferramentas de ecodesign na fase de Projeto Detalhado, direcionados à verificação da consideração das questões ambientais em todo o PDP e dos resultados obtidos.

Após a realização da integração dos métodos e ferramentas de ecodesign selecionados ao modelo de referência, pôde-se notar que a maioria das ferramentas e métodos do ecodesign pode ter a sua aplicação ao longo de diferentes tarefas e atividades de uma mesma fase, ou ainda, começar a sua aplicação, com os passos iniciais em uma fase e só ser finalizado em outra. Complementariamente, uma mesma tarefa pode fazer uso de diversos métodos e ferramentas para que, de fato, considere todas as nuances ambientais e um produto com melhor desempenho ambiental possa ser desenvolvido. Observou-se ainda uma grande superposição de informações entre os passos para execução dos diferentes métodos e ferramentas do ecodesign, uma vez que os métodos foram analisados, nessa primeira versão, de forma individual. Trabalhos futuros podem explorar essa limitação, mesclando e unindo diferentes partes de métodos e ferramentas de modo a aproveitar as informações criadas em

um deles e a sua aplicação no modelo de referência, tornando o modelo o menos burocrático possível e passível de ser aplicado.

A integração dos métodos e ferramentas do ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos, como apresentado aqui, trata-se do resultado das primeiras iterações de um projeto de pesquisa, no qual devem ser ainda propostas e testadas melhorias na integração e aplicabilidade do novo modelo referência genérico com a integração das questões ambientais. As limitações indicadas podem ser resolvidas por meio da identificação das melhores práticas de ecodesign encontradas nos métodos e ferramentas de ecodesign, e posterior integração dessas melhores práticas ao modelo de referência. Faz-se necessário, ainda, a aplicação do modelo em estudos de casos e pesquisas-ação. Deve-se lembrar que, para que o modelo de referência genérico possa ser aplicado em uma empresa, ele deve ser instanciado e adaptado às necessidades e especificidades da empresa e dos tipos de produto que são desenvolvidos.

Uma vez que os métodos e ferramentas do ecodesign estejam integrados ao processo de negócio de desenvolvimento de produtos, torna-se então necessário que as empresas comecem a utilizá-los de modo a melhorar o desempenho ambiental dos produtos que estão sendo desenvolvidos. A principal dificuldade encontrada pelas empresas nesse momento está na seleção dos métodos e ferramentas a serem utilizados de acordo com os seus objetivos e estratégias empresariais, no modo e momento da aplicação e na integração com os demais métodos e ferramentas utilizados durante a gestão do ciclo de vida dos produtos. Assim, seria importante que existisse um guia para indicar o melhor caminho às empresas na adoção das melhores práticas de ecodesign no processo de desenvolvimento de produtos.

## 8. Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Brasil: ABNT. Novembro, 2001. 10p

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO14041 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição do objetivo escopo e análise de inventário**. Brasil: ABNT. Maio, 2004a. 25p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO14042 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida**. Brasil: ABNT. Maio, 2004b. 17p.

BAKSHI, B. R.; FIKSEL, J. **The Quest for Sustainability**: challenges for process systems engineering. In: AIChE Journal Vol. 49, No. 6, p. 1350 – 1358. 2003.

BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. **Mapping the green product development field**: engineering, policy and business perspectives. In: Journal of Cleaner Production 10 (2002) 409 – 425.

BEAMON, B.M. **Designing the Green Supply Chain**. Logistics Information Management, 1999.

BIERMA, T.J.; WATERSTARAAT, F.L.; OSTROSKY, J. **Chapter 13: Shared Savings And Environmental Management Accounting**. The Green Bottom Line. Greenleaf Publishing. England, 1998.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H. **Systematic Review in Software Engineering**. Rio de Janeiro, 2005.

BOKS, C. **The soft side of Ecodesign**. In: Journal of Cleaner Production xx (2005) 1-11.

BOKS, C., DIEHL, J. C. **EcoBenchmarking for All**. IEEE, 2005.

BOONKANIT P., APIKAJORN SIN A. **The Methodology for Selecting Product at Conceptual Design**. IEEE, 2005.

BRERETON, P.; KITCHENHAM, B. A.; BUDGEN, D.; TURNER, M.; KHALIL, M. **Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain**. In: The Journal of Systems and Software, 2007.

BREZET H.; VAN HEMEL C. **Ecodesign: A promising approach to sustainable production and consumption**. The Netherlands: TU Delft, 1997.

BYGGETH, S.; HOCHSCHORNER, E. **Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement**. In: Journal of Cleaner Production 14 (2006) 1420-1430

CASPERSEN, N.I.; SORENSEN, A. **Improvements of products by means of lifecycle assessment: high pressure cleaners**. In: Journal of Cleaner Production 6 (1998) 371-380.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. **Livro verde sobre la política integrada relativa aos produtos**. Bruxelas, 2001.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indicadores de Competitividade na Indústria Brasileira: micro e pequenas empresas** / CNI; SEBRAE . – Brasília : CNI, 2006.

DERMODY J.; HANMER-LLOYD S. **Greening new product development: the pathway to corporate environmental excellence.** Greener manage int 1995;11:73–88.

DOWIE, T. **Green Design.** In: World Class Design to Manufacture, Vol. 1 No. 4, 1994, pp. 32-38.

EHRENFELD J.R.; HOFFMAN A.J. **Becoming a green company: the importance of culture in the greening process.** Conference paper to the Greening of Industry Conference in Boston; 1993

FIKSEL J.; MCDANIEL, J.; SPITZLEY, D. **Measuring Product Sustainability.** In: The Journal of Sustainable Product Design, 1998.

FITZGERALD, D.P.; HERRMANN, J.W.; SCHMIDT, L.C. **Improving Environmental Design Using TRIZ Inventive Principles.**

GUELERE FILHO, A. **Estudo exploratório sobre gestão ambiental em micro e pequena empresa de manufatura.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2005

GUELERE FILHO, A.; ROZENFELD, H. **Integrating Ecodesign Methods and Tools into a Reference Model for Product Development.** IV Global Conference on Sustainable Manufacturing, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1998). ISO 14041: **Environmental Management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and life cycle inventory analysis.** Geneva, CH: ISO.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2000a). ISO 14042: **Environmental Management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment**. Geneva, CH: ISO.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2000b). ISO 14043: **Environmental Management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation**. Geneva, CH: ISO.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1997). ISO 14040: **Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework**. Geneva, CH: ISO.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION NBR 14.062. **Gestão ambiental – Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto**. 2004.

JESWIET, J.; HAUSCHILD, M.. **Ecodesign and future environmental impacts**. In: *Materials and Design* 26 (2005) 629-634.

JOHANSSON, G. **Success factor for integration of Ecodesign in product development: A review of state of the art**. In: *Environmental Management and Health*, Vol 13, Nº 1, pp 98-107.

LAGERSTEDT, J. **Functional and environmental factors in early phases of product development - Eco functional matrix**. Tese de doutorado. Estocolmo, 2003.

LICHTENVORT, K.; ALONSO, J.C.; JOHANSSON, G.; BARMETABEIIAD, L. **Applying the grEEEn Method: Initial Results from an Ecodesign Case Study**. In: *Proceedings of*

EcoDesign2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2003.

LINDAHL, M. **E-FMEA - A new Promising Tool for Efficient Design for Environment.**

LINDAHL, M. **Environmental Effect Analysis – How does the method stand in relation to lessons learned from the use of other design for environment methods.** In: IEEE, 2001.

LINDAHL, M. **Environmental Effect Analysis (EEA) – an approach to Design for Environment.** Licentiate Thesis. Estocolmo, 2000.

LINDAHL, M.; SKOGLUND, L.; SVENSSON, J.; KARLSSON, R. **Use and Perceptions of Design for Environment in Small and Medium Sized Enterprises in Sweden.** In Proceedings of EcoDesign 2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing.

LUTTROP, C.; LAGERSTEDT. **Ecodesign and The Ten Golden Rules:** generic advice for merging environmental aspects into product development. In: Journal of Cleaner Production (2006) 1-13.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis.** São Paulo. EDUSP, 1998.

MASUI, K., SAKAO, T., KOBAYASHI, M., INABA, A. **Applying Quality Function Deployment to environmentally conscious design.** International Journal of Quality & Reliability Management, 2003.

MASUI, K., SAKAO, T., INABA A. **Quality function deployment for environment QFDE (1st report)-a methodology in early stage of DfE.** IEEE, 2001.

MASUI, K., SAKAO, T., INABA, A., KOBAYASHI, M., AIZAWA, S. **Quality function deployment for environment QFDE (2ndreport)-verifying the applicability by two case studies.** IEEE, 2001.

MASUI, K., SAKAO, T., KOBAYASHI, M., INABA, A. **Quality Function Deployment for Environment (QFDE) to Spread DFE on the whole Company.**

MASUI, K.; SAKAO, T.; INABA, A. **Quality function deployment for environment QFDE (1st report)-a methodology in early stage of DfE.** In: IEEE, 2001.

MATHIEUX, F.; FROELICH, D.; MOSZKOWICZ, P. **ReSICLED: a new recovery-conscious design method for complex products based on a multicriteria assessment of the recoverability.** In: Journal of Cleaner Production, 2006.

MURTAGH, N.; BAMBA, T.; IWAMA, K. **An Evaluation Tool for Eco-Design of Electrical Products.**

NAGATA, K.; AIZAWA, M.; NOHTOMI, M.; ASAOKA, K.; USAMI, C. **The development of the Environmental Efficiency Potential Assessment method.** In: IEEE, 2001.

NDERL, R.; WEIßMANTEL, H.; DAUM, B.; WOLF, B. **Design for environment-a computer-based cooperative method to consider the entire life cycle.**

NIELSEN, P.H.; WENZEL, H. **Integration of environmental aspects in product development:** a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment. In: Journal of Cleaner Production 10(2002) 247-257.

POYNER, J.R.; SIMON, M. **Integration of DFE tools with product development.** In: Clean Electronics Products and Technology, 1995.

ROZENFELD, H; AMARAL, D.C; FORCELLINI, F.A.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão do Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo. Saraiva, 2006.

SAKAO, T., MASUI K., KOBAYASHI M., INABA A. **QFDE (Quality Function Deployment for Environment) and LCA: an Effective Combination of Tools for DFE.**

SARKIS, J. **A strategic decision framework for green supply chain management.** Journal of Cleaner Production, 2003.

SIMON, M.; BHAMRA, T. A.; EVANS, S.; MCALOONE, T. C.; SWEATMAN, A.; POOLE, S. **Integrating Decisions into the Product Development Process: Part 1 – The Early Stages.**

SIMON, M.; BHAMRA, T. A.; EVANS, S.; MCALOONE, T. C.; SWEATMAN, A.; POOLE, S. **Integrating Decisions into the Product Development Process: Part 1 – The Early Stages.**

**SMALL and medium-sized enterprises and sustainability: facts and figures.** *Industry and Environment: a quarterly review*, Paris, v.26, n.4, p.4-6, Oct./Dec.

SPICER, A.; WANG, M.H. **Environmental Design Industrial Template (EDIT) a software tool for analysis of product retirement.** In: Journal of Cleaner Production, 1997.

SUN J.; HAN, B.; EKWARO-OSIRE, S.; ZHANG, H.C. **Design for Environment: Methodologies, Tools and Implementation.** In: Journal of Integrated Design and Process Science, 2003.

THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future.** New York, Oxford: University Press, 1987.

TINGSTROM, J.; KARLSSON, R. **The relationship between environmental analyses and the dialogue process in product development.** In: Journal of Cleaner Production, 2006.

UNEP Division of Technology Industry and Economics. **Financing Cleaner Production - Profiting from Cleaner Production.** Resource Kit For Training Checklists For Action. In: <<http://www.financingcp.org/training/training.html>>. Acesso em 15 de maio de 2007.

VEZOLLI, C. **A new generation of designers: perspectives for education and training in the field of sustainable design. Experiences and projects at the Politecnico di Milano University.** In: Journal of Cleaner Production, 2003.

WEENRN, J. C. **Towards sustainable product development.** In: Journal of Cleaner Production, Vol. 3 (1995), No. 1-2, 95-100.

YARWOOD, J.M., EAGAN, P.D. **Design for the Environment – A competitive edge for the future.** Minnesota Office of Environmental Assistance.

YARWOOD, J.M.; EAGAN, P.D. **Design for Environment – Toolkit.** Minnesota Office of Environmental Assistance.

YEN, S.B.; CHEN, J.L. **An Eco-Innovative Tool by Integrating FMEA and TRIZ Methods.** In: IEEE, 2005.

## **Apêndice A**

### **Revisão Bibliográfica Sistemática**

A revisão sistemática é uma metodologia de pesquisa específica, desenvolvida formalmente, para levantamento e avaliação de evidências pertencentes a um determinado foco de pesquisa. O processo de condução da pesquisa em uma revisão sistemática segue uma seqüência bem definida de passos metodológicos, de acordo com um protocolo desenvolvido previamente (BRERETON et al, 2007). Este instrumento é construído ao redor de uma questão central, que representa a razão da investigação, e é expressa por meio da utilização de conceitos e termos específicos. A comparação entre estudos, baseada em parâmetros específicos, pode mostrar contrastes e outras diferenças que podem elucidar aspectos distintos da questão. O modelo de revisão sistemática utilizado é apresentado por Biolchini et al (2005).

A revisão bibliográfica sistemática deve ser realizada em cinco fases principais. A Figura 1 apresenta as fases da realização de uma revisão bibliográfica sistemática.

A primeira fase contém a formulação do problema, cuja principal questão se refere a que tipo de evidência deve ser incluída na revisão e à construção de definições que possibilitem ao pesquisador o estabelecimento da distinção entre os estudos relevantes e irrelevantes para o propósito da investigação.

A segunda fase trata-se da coleta de dados, cujo foco é definir quais devem ser os procedimentos adotados para que as evidências relevantes sejam encontradas. Inclui a identificação das fontes que tenham potenciais estudos relevantes, considerando preferencialmente canais múltiplos de acesso a estudos primários assim como a forma pela qual esses canais podem ser complementares nos seus materiais correspondentes. Nesse estágio, invalidações potenciais da revisão sistemática podem surgir se os estudos acessados

corresponderem a uma natureza qualitativamente diferente quando comparados à população alvo de estudos como definido no protocolo.

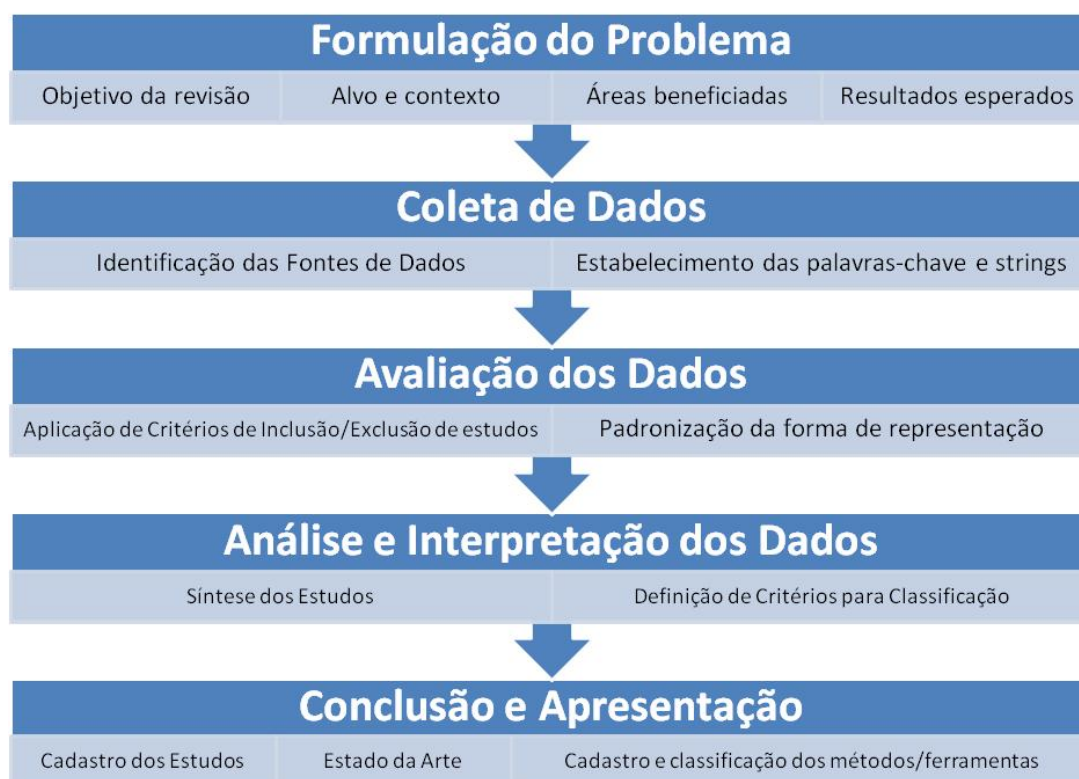


Figura 1: Processo de Realização da Revisão Bibliográfica Sistemática

A terceira fase consiste da avaliação dos dados. A questão central se refere a qual evidência recuperada deve ser incluída na revisão e consiste na aplicação de critérios qualitativos para separar estudos que possam ser considerados válidos daqueles inválidos. Consiste também na determinação de guidelines para o tipo de informação que pode ser extraída dos relatórios de pesquisa primária. A quarta fase corresponde ao processo de análise e interpretação dos dados, cujo foco deve ser a determinação de quais procedimentos devem ser utilizados pelo pesquisador para fazer inferências sobre os dados como um todo. Inclui a realização da síntese dos estudos válidos de forma que generalizações sobre a questão possam ser possíveis de serem feitas.

O processo de conclusão e apresentação é realizado na quinta fase, cuja questão central é a escolha de quais informações devem ser incluídas no relatório da revisão

sistemática. Consiste na aplicação de um critério editorial para determinação de uma separação clara entre informações importantes ou não. Neste estágio, a omissão dos procedimentos de revisão pode representar uma fonte de potencial invalidação nas conclusões da revisão sistemática, pois leva a irreprodutibilidade da pesquisa por si só e também das suas conclusões. As fases mostradas parecem ser sequenciais, mas ressalta-se que a execução deve ser realizada de modo iterativo durante o desenvolvimento da revisão sistemática.

## Apêndice B

### Análise dos Dados do Cadastro dos Estudos

A distribuição anual do ano de publicação dos estudos obtidos é apresentada na Figura

1. Os valores obtidos indicam que há um interesse crescente pela consideração das questões ambientais no desenvolvimento de produtos para o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis. Os anos de 1999, 2001, 2003 e 2005 correspondem a anos de realização de eventos importantes para a área de pesquisa do Ecodesign.

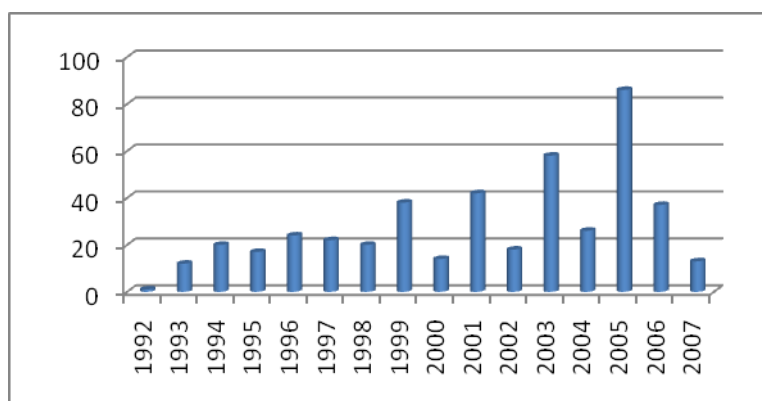


Figura 1: Distribuição Anual dos Estudos Obtidos

Dos 515 estudos obtidos, 95,3% são do tipo artigo e 2,5% do tipo publicação (figura 2). Os estudos correspondem ao trabalho de mais de 300 autores, de diversos países e áreas de atuação. O número de fontes cadastradas foi de 111, sendo a maioria de revistas internacionais conceituadas das mais diversas áreas do conhecimento, o que indica a multidisciplinaridade da questão ambiental.

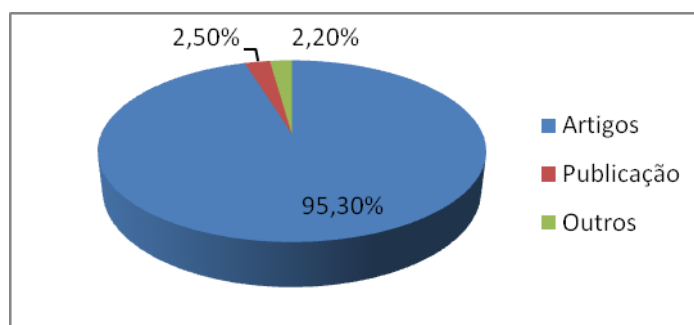


Figura 2: Tipos dos estudos obtidos

## Apêndice C

### **Critérios de classificação dos métodos/ferramentas de Ecodesign**

O formulário de cadastramento dos métodos e ferramentas foi realizado no formato de banco de dados do Microsoft Access e contém os seguintes campos:

- Nome do método/ferramenta: campo destinado ao nome do método/ferramenta;
- Nome do estudo: estudo que cita informações sobre o referido método/ferramenta;
- Autor(es): autores do estudo que cita informações sobre o referido método/ferramenta;
- Fonte: fonte em que o estudo foi obtido ou publicado;
- Resumo do método/ferramenta: campo destinado ao resumo do método/ferramenta;

#### Critérios de Classificação

Após a seleção inicial dos critérios, ocorreu uma consulta a especialistas das áreas de meio ambiente e de processo de desenvolvimento de produtos para avaliação da seleção dos critérios mais adequados. Nessa ocasião, foram sugeridos novos critérios que foram adicionados ao formulário de classificação dos métodos/ferramentas. Todos os critérios aqui apresentados foram enviados a cerca de 10 especialistas em métodos e ferramentas do processo de desenvolvimento de produtos e em gestão ambiental para apreciação e avaliação. O *feedback* desses especialistas mostrou que os critérios selecionados são adequados para a classificação dos métodos e ferramentas do ecodesign.

- Natureza do objetivo principal do método/ferramenta
  - Prescritiva: métodos/ferramentas que apresentam sugestões genéricas (oriundas de um conjunto pré-estabelecido de melhores práticas de redução de impactos ambientais) para a melhoria do desempenho ambiental de produtos considerando impactos ambientais recorrentes a produtos industriais;

- Comparativa: métodos/ferramentas que visam comparar o desempenho ambiental de diferentes produtos, de diferentes conceitos ou de diferentes alternativas de projetos para um mesmo produto;
- Analítica: métodos/ferramentas que visam identificar potenciais de melhorias no desempenho ambiental de produtos por meio da determinação de seus impactos ambientais. As categorias de impactos são pré-estabelecidas de acordo com o método/ferramenta.
- Tipo de ferramenta utilizada pelo método/ferramenta
  - Checklist: ferramenta utilizada para checar se um determinado parâmetro relacionado ao desempenho ambiental de um produto foi ou não considerado;
  - Guideline: ferramenta que oferece diretrizes gerais a serem seguidas durante o desenvolvimento de produtos para a melhoria de seu desempenho ambiental;
  - Matriz: ferramenta que contém uma escala pré-definida para a avaliação do desempenho ambiental de produtos comparando-se dois aspectos relevantes;
  - Software: ferramenta computacional utilizada para suportar a aplicação do método/ferramenta;
    - Sistemas associados: sistema que possa estar associado ao tipo de ferramenta software.
- Natureza dos dados de entrada: os dados de entrada necessários para um determinado método/ferramenta podem ser qualitativos, quantitativos ou ambos.
  - Qualitativos;
  - Quantitativos.
- Natureza dos dados de saída: os dados de saída necessários para um determinado método/ferramenta podem ser qualitativos, quantitativos ou ambos.

- Qualitativos;
  - Quantitativo.
- Área de pesquisa em que foi originado
  - Ecodesign/Gestão Ambiental: método/ferramenta com origem na grande área de pesquisa da gestão ambiental, aqui representada pelo termo Ecodesign;
  - Processo de desenvolvimento de produtos: método/ferramenta com origem na área de pesquisa do PDP, com métodos/ferramentas adaptados dessa área para a consideração da questão ambiental;
- Tempo demandado para uso: critério qualitativo para estimativa do tempo de uso necessário para a aplicação do método/ferramenta
  - Alto: consumo de tempo alto quando relacionado à fase do processo de desenvolvimento de produtos em que é aplicada;
  - Baixo: consumo de tempo baixo quando relacionado à fase do processo de desenvolvimento de produtos em que é aplicada;
- Custo de aplicação do método/ferramenta: critério qualitativo para estimativa do custo de aplicação relacionado ao custo total da fase de desenvolvimento
  - Alto: custo de aplicação alto quando comparado ao custo total da fase do processo de desenvolvimento de produtos em que é aplicado;
  - Baixo: custo de aplicação baixo quando comparado ao custo total da fase do processo de desenvolvimento de produtos em que é aplicado;
- Grau de especialização requerido pelos usuários do método/ferramenta: critério qualitativo para estimativa do grau de especialização ambiental requerido pelo usuário;
  - Alto: são necessários conhecimentos expressivos na área de gestão ambiental para aplicação do método/ferramenta;

- Baixo: o usuário não necessita de conhecimentos expressivos na área de gestão ambiental para aplicação do método/ferramenta;
- Fases do ciclo de vida consideradas: questão aberta para inserção das fases do ciclo de vida do produto (extração da matéria-prima, indústrias de base, manufatura, uso, descarte, reuso, reciclagem, remanufatura e tratamento e disposição final) consideradas;
- Aspectos ambientais considerados: questão aberta para inserção dos aspectos ambientais do produto considerados pelo método/ferramenta;
- Nível de maturidade: critério que avalia o nível de maturidade do método/ferramenta em função do seu estado atual de aplicação:
  - Teórico: existem apenas estudos acadêmicos teóricos de desenvolvimento do método/ferramenta;
  - Experimental: o método/ferramenta foi aplicado em estudos de caso em caráter piloto em âmbito de pesquisa para validação do seu modelo teórico;
  - Consolidado: método/ferramenta já validado e aplicado regularmente no processo de desenvolvimento de produtos de empresas;
- Método de avaliação ambiental: critério que verifica se o método/ferramenta possui um método de avaliação de impacto ambiental na sua formulação
  - Sim;
  - Não.
- Nível de detalhamento do método/ferramenta: nível de detalhamento obtido no estudo
  - Superficial: apenas informações gerais do método/ferramenta;
  - Sucinto: informações específicas do método/ferramentas, mas de maneira sucinta;
  - Completo: informações completas do método/ferramenta.

- Integração com outras ferramentas/métodos: questão aberta que indica o uso de ferramentas ou métodos auxiliares para o uso de determinado método/ferramenta.
- Setor: identifica o setor para o qual o método/ferramenta foi desenvolvido.

O cadastro e classificação dos métodos/ferramentas foram realizados em um formulário, como na figura 1, e os dados armazenados em um banco de dados do Microsoft Access. Os dados armazenados podem gerar tabelas e relatórios e serem exportados para planilhas em Microsoft Excel e documentos em Microsoft Word de modo simples e rápido.

Os critérios para classificação dos métodos e ferramentas do ecodesign foram selecionados em função da leitura dos estudos e entendimento das principais funções, características e possibilidades de aplicação dos métodos/ferramentas.

| Ficha Catalográfica                                 |                          |   |                          |
|---|--------------------------|---|--------------------------|
| Código  | Ano                      | Hiperlink para o Estudo:                            |                          |
| (Novo)  |                          |   |                          |
| Nome do método/ferramenta                           |                          |   |                          |
|   |                          |   |                          |
| Nome do Estudo                                      |                          |   |                          |
|   |                          |   |                          |
| Autor(es)   |                          |   |                          |
|   |                          |   |                          |
| Fonte   |                          |   |                          |
|   |                          |   |                          |
| Resumo do método/ferramenta                         |                          |   |                          |
|   |                          |   |                          |
| Natureza do objetivo principal do método/ferramenta |                          | Tipo de ferramenta utilizada pelo método/ferramenta |                          |
| Prescritiva   | <input type="checkbox"/> | Checklists  | <input type="checkbox"/> |
| Comparativa   | <input type="checkbox"/> | Guidelines  | <input type="checkbox"/> |
| Análítica   | <input type="checkbox"/> | Matrizes  | <input type="checkbox"/> |
|   |                          | Softwares   | <input type="checkbox"/> |
|   |                          | Sistemas Associados                                 | <input type="checkbox"/> |
|   |                          |   |                          |
| Natureza dos dados                                  |                          | Área de pesquisa em que foi originado               |                          |
| Dados de Entrada Qualitativos                       | <input type="checkbox"/> | Dados de Saída Qualitativos                         | <input type="checkbox"/> |
| Dados de Entrada Quantitativos                      | <input type="checkbox"/> | Dados de Saída Quantitativos                        | <input type="checkbox"/> |
|   |                          | PDP   | <input type="checkbox"/> |
|   |                          | Ecodesign   | <input type="checkbox"/> |

|  |                                      |  |
|--|--------------------------------------|--|
| <b>Tempo demandado para uso</b>                  | <b>Custo de aplicação do método</b>  | <b>Grau de especialização requerido pelos designers</b>              |
| Baixo Consumo de Tempo <input type="checkbox"/>  | Alto Custo <input type="checkbox"/>  | Alta Especialização <input type="checkbox"/>                         |
| Alto Consumo de Tempo <input type="checkbox"/>   | Baixo Custo <input type="checkbox"/> | Baixa Especialização <input type="checkbox"/>                        |
| <b>Fases do Ciclo de Vida Consideradas</b>       |                                      |  |
| <input type="text"/>                             |                                      |  |
| <b>Aspectos Ambientais considerados</b>          |                                      |  |
| <input type="text"/>                             |                                      |  |
| <b>Inserção no contexto do PDP</b>               |                                      |  |
| <input type="text"/>                             |                                      |  |
| <b>Nível de Maturidade</b>                       | <b>Grau de detalhamento</b>          | <b>Possui método de Avaliação Ambiental</b> <input type="checkbox"/> |
| Teórico <input type="checkbox"/>                 | Superficial <input type="checkbox"/> | <b>Sector</b> <input type="text"/>                                   |
| Case <input type="checkbox"/>                    | Sucinto <input type="checkbox"/>     |  |
| Aplicação <input type="checkbox"/>               | Completo <input type="checkbox"/>    |  |
| <b>Integração com Outros Métodos/Ferramentas</b> |                                      |  |
| <input type="text"/>                             |                                      |  |

registro: 14 49 de 49 Não Filtrado Pesquisar

Figura 1: Formulário de Cadastro dos Métodos/Ferramentas do Ecodesign no Microsoft Access



## Apêndice D

### Análise dos Dados da Classificação dos Métodos/Ferramentas

A classificação dos 105 métodos/ferramentas realizada possibilitou a análise dos dados em função dos critérios adotados.

A figura 1 apresenta a natureza do objetivo principal dos métodos/ferramentas cadastrados e classificados. Percebe-se que os métodos/ferramentas de natureza analítica (como o AT&T's Green Design Tool (POYNER; SIMON, 1995)) são mais utilizados do que aqueles de natureza prescritiva (Eco Strategy Wheel – (LAGERSTEDT, 2003)) ou comparativa (ENVRIZ – (FITZGERALD et al, sem data)). É importante notar, entretanto, que um mesmo método/ferramenta pode ter mais de um objetivo principal, o que possibilita a sua classificação como prescritiva e analítica simultaneamente. O Green Design Advisor (SUN et al 2003), por exemplo, é analítico e prescritivo ao mesmo tempo.

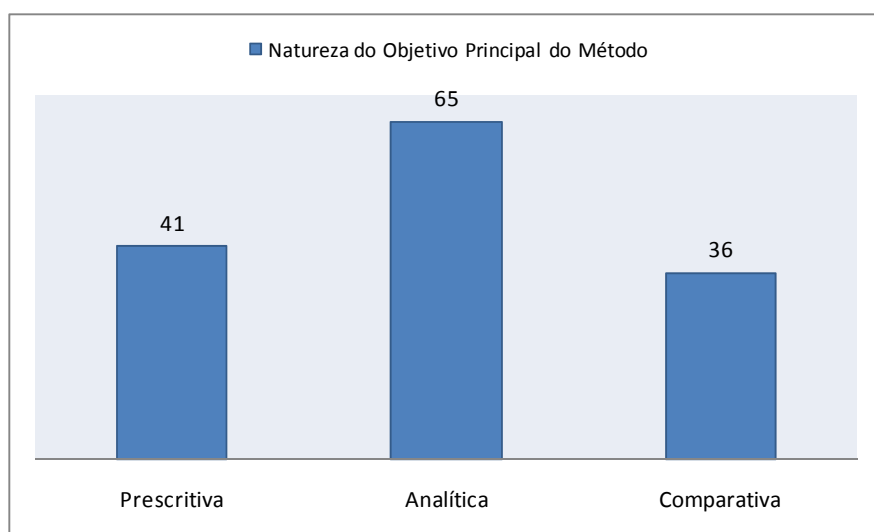


Figura 1. Tipo de ferramenta utilizada pelos métodos/ferramentas

A figura 2 indica que há uma tendência para o uso de matrizes, ferramenta que contém uma escala pré-definida para a avaliação do desempenho ambiental de produtos por meio da relação entre dois aspectos relevantes, nos métodos/ferramentas do

ecodesign. É importante notar que um mesmo método pode utilizar mais do que um tipo de ferramenta durante a sua aplicação. O DfE Matrix (YARWOOD; EAGAN, sem data) e o Eco-Function Matrix (LAGERSTEDT, 2003), por exemplo, além de terem uma matriz na sua estrutura, apresentam ainda checklists que devem ser utilizados para o preenchimento das células da matriz.

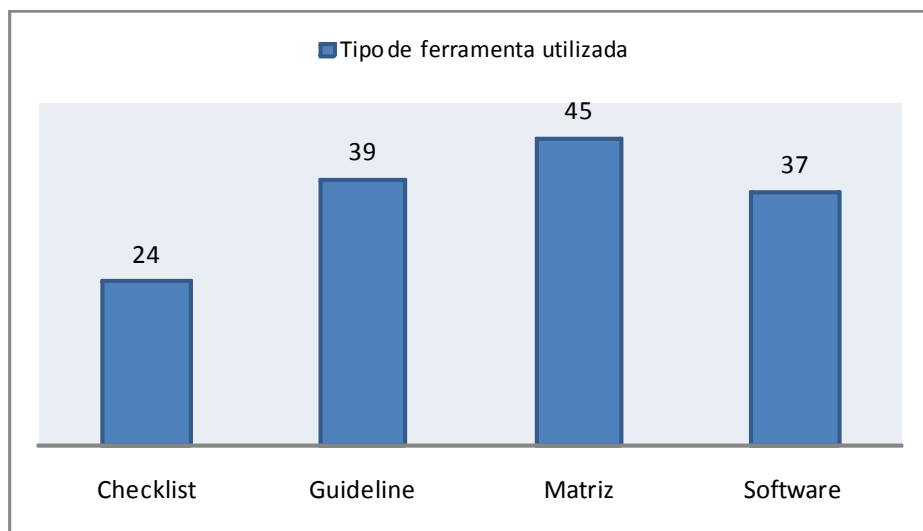


Figura 2. Tipo de ferramenta utilizada pelos métodos/ferramentas

A figura 3 mostra um equilíbrio entre a natureza dos dados de entrada e saída necessários para a aplicação de um método/ferramenta. Um mesmo método/ferramenta pode necessitar de dados de entrada e/ou saída qualitativos, quantitativos ou ambos. Geralmente, durante as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, devem ser utilizados métodos/ferramentas que tenham dados de entrada preferencialmente qualitativos, devido à falta de informação característica dessas fases (The Ten Golden Rules (LUTTROP; LAGERSTEDT, 2006), por exemplo). Conforme o processo de desenvolvimento vai evoluindo, métodos/ferramentas quantitativos passam a ser adotados para avaliação do desempenho ambiental do produto que está sendo desenvolvido e identificação de pontos fortes para melhoria do seu desempenho. Exemplo de método que exige dados quantitativos é a Análise do Ciclo de Vida (ACV) ou Life Cycle Assessment (TINGSTROM; KARLSSON, 2006).

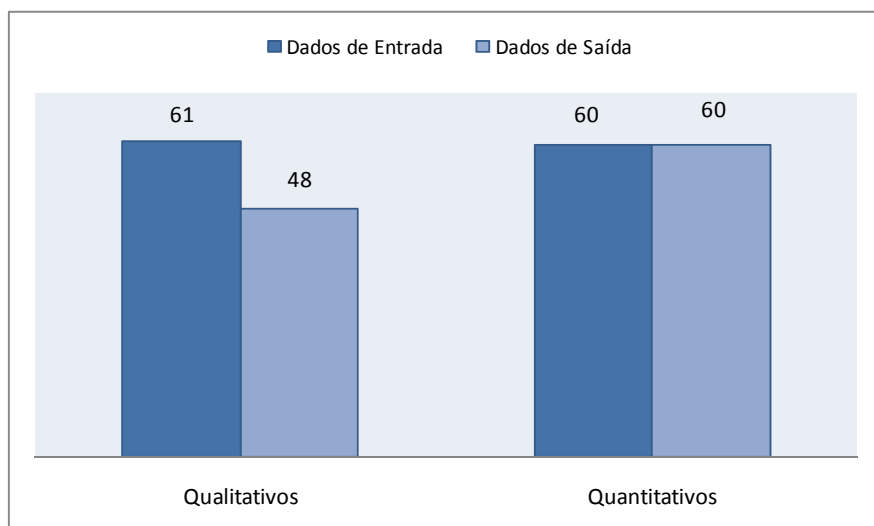


Figura 3. Natureza dos dados de entrada e saída dos métodos/ferramentas

A figura 4 identifica a área de pesquisa de origem dos métodos/ferramentas. A maioria deles tem origem na área do ecodesign, ou da grande área de gestão ambiental. Os métodos/ferramentas com origem no PDP foram, na sua maioria, adaptados de ferramentas bem estabelecidas na área, como o Quality Function Deployment (QFD) e o Failure Mode Effect Analysis (FMEA) ao Quality Function Deployment for Environment (QFDE) (MASUI; SAKAO; INABA, 2001) e Environmental Effect Analysis (EEA/E-FMEA) (TINGSTROM; KARLSSON, 2006), respectivamente. Existem ainda métodos/ferramentas que combinam conceitos tanto da área de gestão ambiental quanto do desenvolvimento de produtos, como o Environmental Design Industrial Template (EDIT) (SPICER; WANG, 1997),

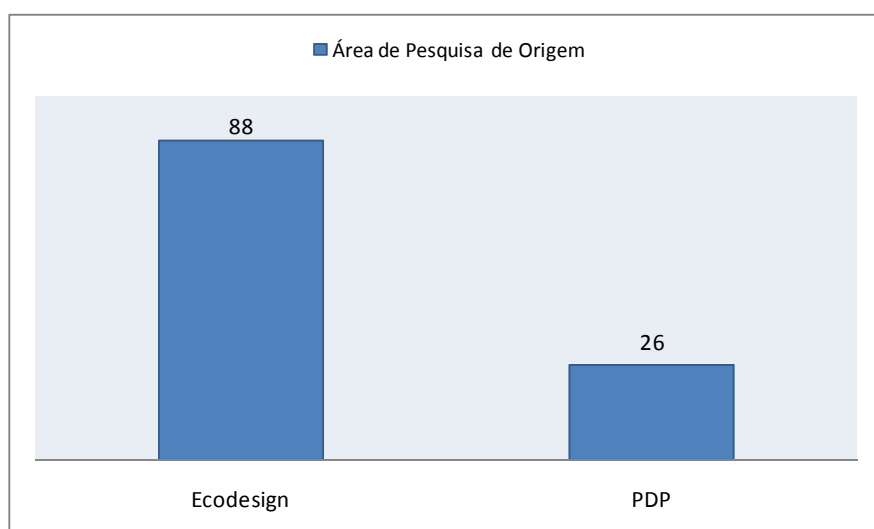


Figura 4. Área de pesquisa de origem dos métodos/ferramentas

O consumo de tempo demandado para aplicação dos métodos/ferramentas apresentados na figura 5 indica que a maioria apresenta baixo consumo de tempo, apesar da diferença não ser expressiva. Tal fato deve-se à necessidade de métodos/ferramentas simples para serem aplicados nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, onde o conhecimento sobre o produto ainda é baixo e o grau de incerteza elevado. Os métodos/ferramentas que demandam um maior consumo de tempo são utilizados nas fases em que a quantidade de informações acerca do produto que está sendo desenvolvido já é maior e o grau de incerteza é menor.

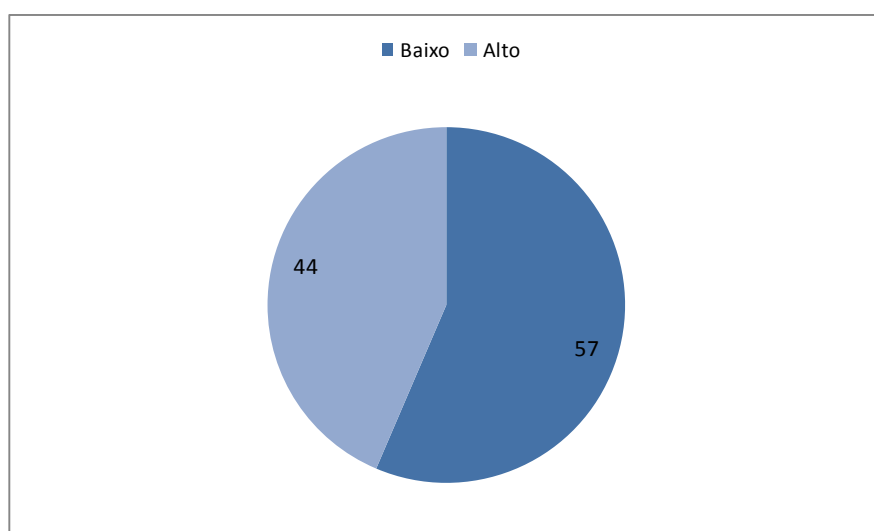


Figura 5. Consumo de tempo dos métodos/ferramentas

A figura 6 mostra o custo de aplicação dos métodos/ferramentas classificados. Mais de 80% deles possui um baixo custo de aplicação quando comparado ao custo total da fase do processo de desenvolvimento de produtos em que é aplicado. Apesar disso, ainda são pouco aplicados em empresas devido à falta de integração com os outros processos de negócio e à falta de consciência ambiental empresarial, principalmente no Brasil.

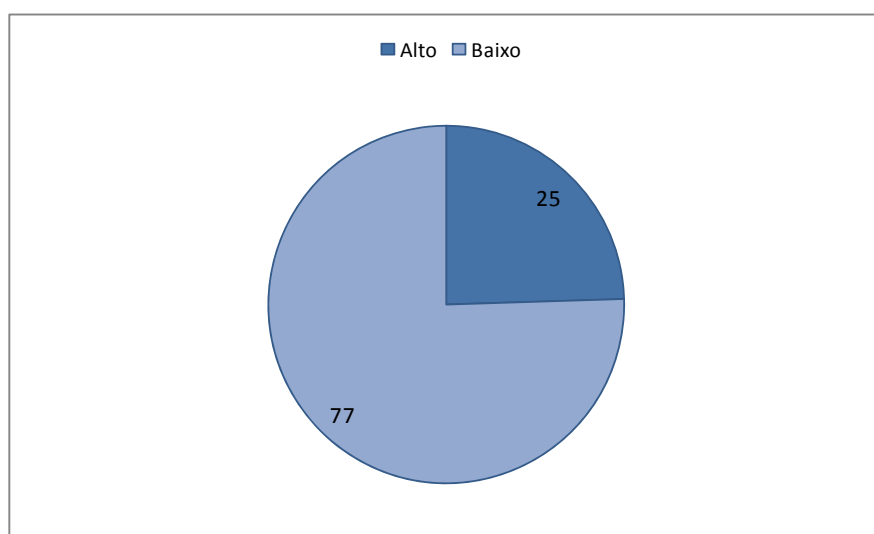


Figura 6. Custo de aplicação dos métodos/ferramentas

O nível de maturidade dos métodos/ferramentas classificados é apresentado na figura 7. Percebe-se que, apesar do intenso desenvolvimento teórico e da validação experimental dos métodos/ferramentas, a grande maioria deles ainda não está sendo aplicado regularmente pelas empresas. Esse fato pode ser explicado pela falta de integração dos métodos/ferramentas com o processo de desenvolvimento das empresas.

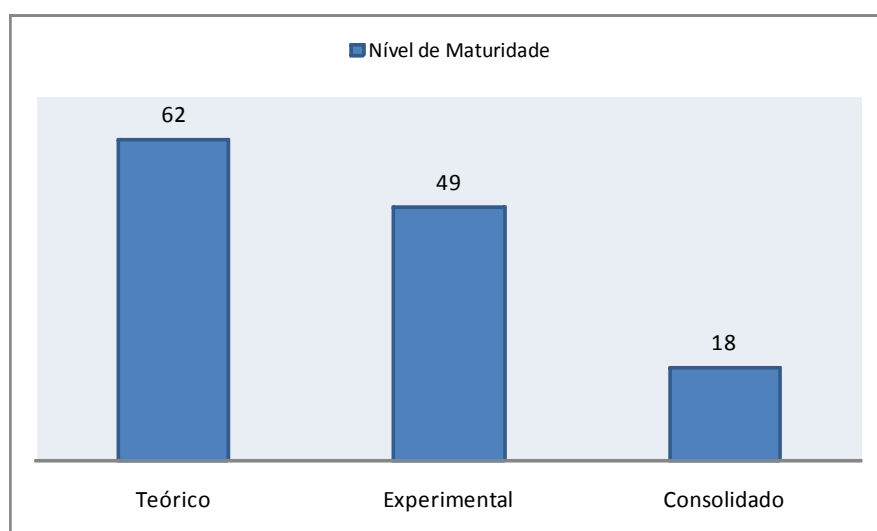


Figura 7. Nível de maturidade dos métodos/ferramentas

A figura 8 apresenta o nível de detalhamento dos métodos/ferramentas classificados encontrados no estudo e indica que a maioria dos métodos/ferramentas é apresentado de forma sucinta. Essa observação pode ser explicada pela grande quantidade de estudos do tipo artigo obtidos durante a revisão sistemática, em que o espaço para explicações mais detalhadas é limitado. Ainda assim, existem vários estudos em que os métodos/ferramentas são apenas citados e explicados de modo superficial.

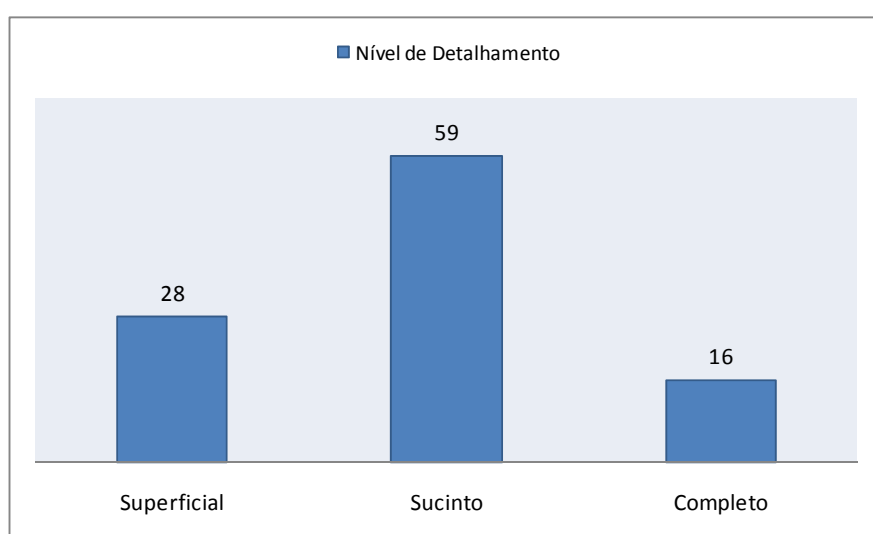


Figura 8. Nível de detalhamento dos métodos/ferramentas

A figura 9 apresenta os aspectos ambientais considerados pelos métodos/ferramentas classificados. Percebe-se a grande ênfase dada aos aspectos ambientais relacionados ao consumo de materiais e energia nos métodos/ferramentas, como, por exemplo, no grEEEn Method (LICHTENVORT et al, 2003). A preocupação com os materiais se deve ao interesse em se recuperar a matéria-prima do produto após o seu uso, de acordo com as diversas alternativas de fim de vida, como reuso, reciclagem e/ou remanufatura e à existência de legislações ambientais, principalmente européias, que regulamentam a responsabilidade do produtor por todo o ciclo de vida do produto. As preocupações com energia são geralmente voltadas à diminuição do consumo durante o uso do produto e à fonte de energia utilizada pelo produto, já que diferentes fontes apresentam diferentes magnitudes de impacto ambiental. Essa preocupação também reflete a busca pela diminuição dos custos do processo de produção do produto, com diminuição da quantidade de materiais e do consumo de energia necessária.

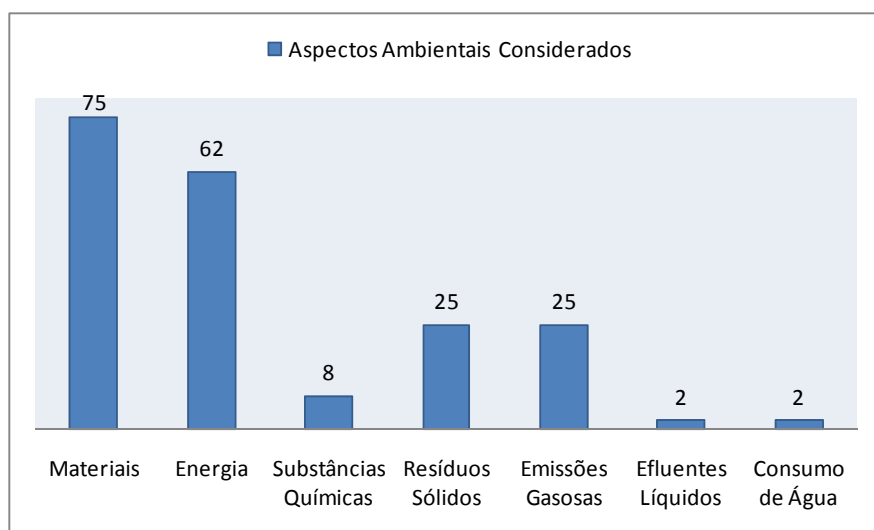


Figura 9. Aspectos ambientais considerados pelos métodos/ferramentas

As fases do ciclo de vida consideradas são apresentadas na figura 10. É importante notar que a maioria dos métodos/ferramentas consideram todas as fases do ciclo de vida de um produto, o que pode contribuir para reduções significativas do

impacto ambiental ao longo de toda a sua vida e é uma característica do “Life Cycle Thinking”. Destaca-se também a grande consideração do fim de vida dos produtos devido à oportunidades de negócios por meio da reciclagem, reúso e/ou remanufatura do produto ou de suas partes. Para que as estratégias de fim de vida possam ser de fato postas em prática, é necessário que o produto tenha sido desenvolvido para esse fim.

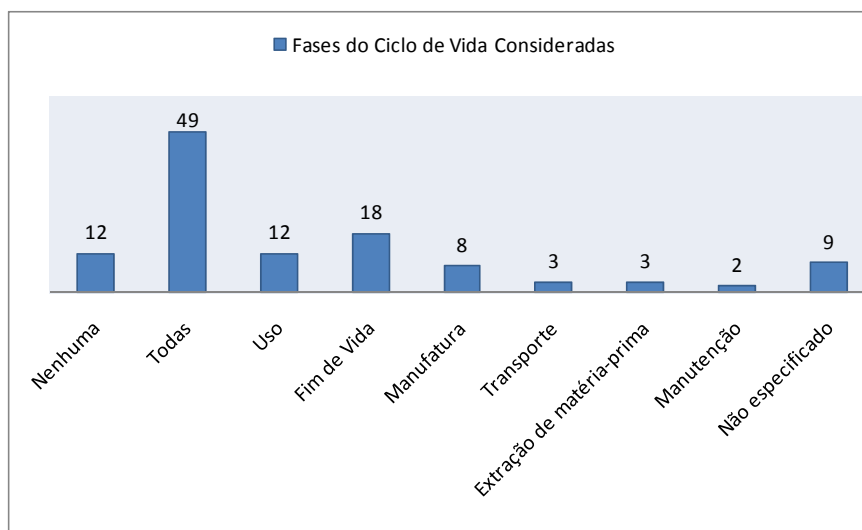


Figura 10. Fases do ciclo de vida consideradas pelos métodos/ferramentas

Grande parte dos métodos e ferramentas consideram todas as fases do ciclo de vida de um produto, o que pode contribuir para reduções significativas do impacto ambiental causado pelo produto ao longo de toda a sua vida e é uma característica do “Life Cycle Thinking”. Destaca-se também a grande consideração do fim de vida dos produtos devido à oportunidades de negócios por meio da reciclagem, reúso e/ou remanufatura do produto ou de suas partes. Uma ferramenta específica para a consideração do fim de vida dos produtos é a Recovery Systems modeling and Indicator Calculation Leading to End-of-life-conscious Design (ReSICLED) (MATHIEUX; FROELICH; MOSZKOWICZ, 2006).

A figura 11 indica que 83% dos métodos/ferramentas não possuem um método de avaliação de impacto ambiental. Tal fato faz com que esses métodos/ferramentas sejam mais subjetivos, mais fáceis de aplicar nas fases iniciais do modelo, onde a

quantidade e qualidade das informações ainda são baixas e o grau de incerteza é alto, e sofram maior influência dos conhecimentos e interesses dos usuários, não avaliando sistematicamente o desempenho ambiental dos produtos que estão sendo desenvolvidos. Como exemplo de um método que possui avaliação de impacto ambiental, temos o Environmental Efficiency Potential Assessment method (E2-PA) (NAGATA et al, 2001)

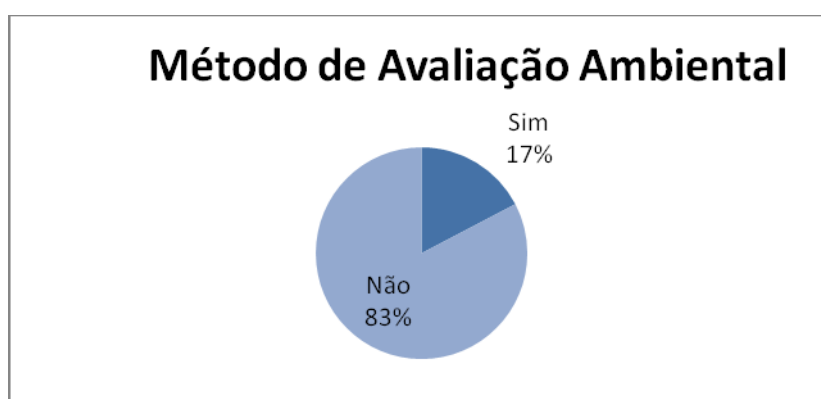


Figura 11. Existência de método de avaliação ambiental nos métodos/ferramentas

O grau de especialização necessário ao usuário de determinado método/ferramenta é apresentado na figura 12. A minoria dos métodos/ferramentas necessita de baixa especialização do usuário, em que não são necessários conhecimentos expressivos na área de gestão ambiental para aplicação. Geralmente, essas ferramentas são mais subjetivas do que aquelas que necessitam de um alto grau de especialização.

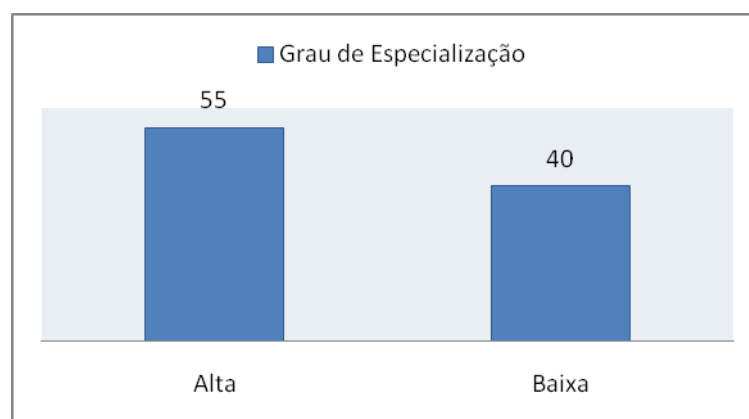


Figura 12 Grau de especialização requerido pelo usuário nos métodos/ferramentas

## **Apêndice F**

### **O Modelo de Referência para o PDP**

Desenvolver produtos consiste no conjunto de atividades por meio das quais se busca, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, se chegar às especificidades de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo e acompanhá-lo após seu lançamento. Assim, irão se realizar as eventuais mudanças necessárias nessas especificações, planejar a descontinuidade do produto no mercado e incorporar, no processo de desenvolvimento, as lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006).

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) é considerado um processo de negócio crítico para aumento da competitividade das empresas, principalmente porque leva a uma maior diversidade de produtos e a uma contínua redução do ciclo de vida de desenvolvimento dos produtos. O desenvolvimento sustentável pode ser integrado na estratégia de gestão do desenvolvimento do produto como uma abordagem complementar, uma nova área de conhecimento (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

O PDP tem seu desempenho tradicionalmente avaliado por meio de indicadores associados à qualidade total do produto desenvolvido, aos custos e à produtividade desse processo e ao tempo total de desenvolvimento, e de sua contribuição para a competitividade da empresa em termos de rentabilidade, crescimento, fortalecimento da imagem e participação no mercado (ROZENFELD et al., 2006).

A necessidade de integração e de coordenação das atividades de desenvolvimento levou à visão de um processo de negócio com ênfase na estruturação e gestão. Os processos de negócio contêm uma gama de atividades destinadas à produção de um produto/serviço para um tipo específico de cliente (interno ou externo à empresa) (ROZENFELD et al, 2006). O

processo de desenvolvimento do produto padrão sobre o qual o desenvolvimento de projetos está baseado é normalmente representado por um modelo de referência. O modelo de referência descreve as atividades, os resultados esperados, os responsáveis, os recursos disponíveis, as ferramentas de suporte e as informações necessárias ou geradas no processo e consiste de uma coleção das melhores práticas no desenvolvimento de produtos, sendo usualmente representado em visões parciais. É utilizado no processo de desenvolvimento de produtos para estabelecer uma linguagem comum para todos os profissionais das diferentes áreas do conhecimento envolvidas no projeto, auxiliando na comunicação e na integração entre eles (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006; ROZENFELD et al., 2006).

O modelo de referência utilizado como base para a integração dos métodos e ferramentas do ecodesign é resultado da união entre a experiência dos autores do livro “Gestão de Desenvolvimento de Produtos” (ROZENFELD et al, 2006) e de dezenas de pesquisadores e especialistas na área de desenvolvimento de produto em uma ação conjunta de grupos de pesquisa da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), coordenados pelo professor Henrique Rozenfeld.

O modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos apresentado por Rozenfeld et al (2006) é dividido em 3 macro-fases gerais: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento (Figura 1). A fase de pré-desenvolvimento compreende o Planejamento Estratégico do Produto e o Planejamento do Projeto e deve garantir que o direcionamento estratégico, definido pela empresa no Planejamento Estratégico da Corporação, as idéias de todos os atores internos e externos envolvidos com os produtos e as oportunidades e restrições sejam sistematicamente mapeados e transformados em um conjunto de projetos bem definidos, isto é, no portfólio de projetos a desenvolver (ROZENFELD et al., 2006).

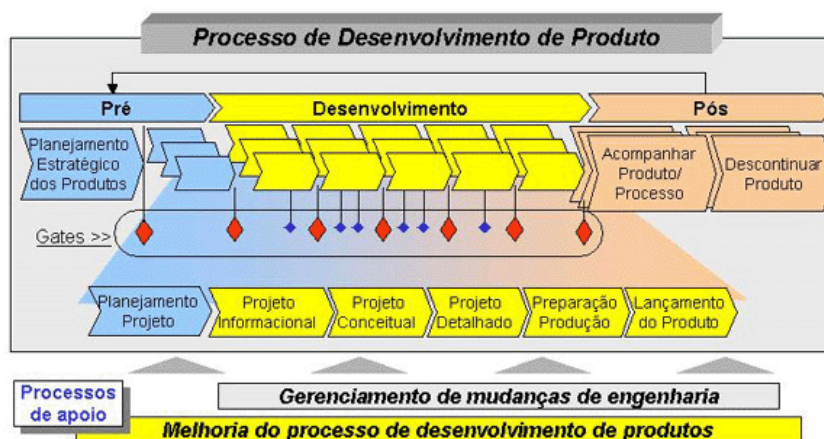


Figura 1: Esquema do Modelo de Referência proposto para o PDP (ROZENFELD et al, 2006)

A fase de Planejamento Estratégico do Produto orienta o PDP em relação às estratégias tecnológicas e às estratégias de produto da empresa, incluindo a gestão de portfólio de acordo com o plano estratégico de negócio da empresa, considerando-se as inovações mercadológicas e tecnológicas (ROZENFELD et al., 2006).

Na fase de Planejamento do Projeto, são definidos o escopo, os recursos disponíveis, as pessoas responsáveis, a duração e os custos do projeto para um produto em particular do portfólio. As melhores práticas da gestão de projetos são consideradas nesta fase. O planejamento do projeto parte do modelo específico da empresa, adaptando-o conforme a necessidade de cada projeto de desenvolvimento. Nesse sentido, existem projetos do tipo radical ou plataforma, que utilizam o modelo de referência na íntegra, projetos derivados de plataforma, em que as atividades iniciais da macro-fase de desenvolvimento podem ser simplificadas e projetos “follow source”, em que há uma simplificação das fases e atividades, podendo eliminar o projeto conceitual (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

Na macro-fase de desenvolvimento, estão incluídas as fases de Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Detalhado, Preparação da Produção e Lançamento do Produto. O objetivo do Projeto Informacional é desenvolver as especificações-meta do produto, que orientam a geração de soluções e fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas posteriores. Esse conjunto de

informações deve refletir as características que o produto deverá ter para atender às necessidades dos clientes. O ciclo de vida do produto, os seus requerimentos e as partes envolvidas são determinados na fase do projeto informacional. Os requerimentos do produto precisam ser mensuráveis em variáveis quantitativas, derivadas dos requerimentos das partes envolvidas (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006; ROZENFELD et al., 2006).

Na fase do Projeto Conceitual, as funções do produto são estabelecidas para cumprir com os requerimentos; as soluções tecnológicas e a arquitetura do produto também são determinadas nessa fase. As atividades da equipe de projeto relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto. Os modelos funcionais permitem que o produto seja representado por meio das suas funcionalidades. A partir de uma análise das especificações-meta do produto e das funções inicialmente identificadas, elabora-se a descrição total desse produto, que é a função mais importante do produto funcionalmente. A decomposição da função global permite que sejam propostas diferentes estruturas funcionais que a satisfaçam, por meio da divisão ou combinação de funções, da mudança de disposição de funções individuais, da mudança do tipo de ligação e da alteração das funções do sistema (ROZENFELD et al., 2006).

A próxima fase é a de Projeto Detalhado, e consiste da integração de três ciclos: detalhamento, aquisição e melhoria do ciclo. Os cálculos, as simulações, a modelação do produto, os esboços, a conta de materiais, os planos do processo, as análises de falha, os protótipos, as avaliações e os testes são realizados nesta fase. Todos os recursos de manufatura são especificados, manuais do produto e instruções para a assistência técnica são também desenvolvidos, assim como sistemas de informação e suporte aos vendedores. Na próxima fase, a Preparação da Produção, o primeiro novo produto é recebido, testado e, quando aprovado, um lote de produção piloto é produzido e um novo processo de produção pode ser mapeado e estabilizado. A fase de Lançamento do Produto ocorre paralelamente à

fase de Preparação da Produção, onde outros processos de negócio, como assistência técnica e serviço ao consumidor, são mapeados (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

Finalmente, a macro-fase de pós-desenvolvimento compreende as fases de Monitoramento do Processo e da Produção e a Gestão de Fim de Vida do Produto. O acompanhamento sistemático e a documentação correspondente das melhorias de produtos ocorridas durante o seu ciclo de vida são atividades centrais do pós-desenvolvimento, que também compreende a retirada sistemática do produto do mercado, fazendo com que os requisitos de gestão ambiental, como reuso, reciclagem, remanufatura ou descarte do produto, sejam considerados. As atividades operacionais incluem a avaliação da satisfação dos clientes, o monitoramento do desempenho técnico do produto, as auditorias, os acompanhamentos das modificações do produto e o registro das lições aprendidas. O planejamento do pós-desenvolvimento trata dessas questões do ponto de vista organizacional, pois as questões técnicas são consideradas durante o desenvolvimento (ROZENFELD et al., 2006).

As macro-fases de pré e pós-desenvolvimento são gerais, assim como o projeto informacional, a preparação da produção e o lançamento do produto da macro-fase de desenvolvimento. As fases de projeto conceitual e detalhado consideram as particularidades dos produtos e os processos de manufatura (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

As áreas de conhecimento do modelo de referência incluem gestão de projeto, custos, marketing, engenharia, produção, fornecimento, qualidade e meio ambiente. A área de meio ambiente compreende as atividades que envolvem a incorporação do desenvolvimento sustentável e dos métodos/ferramentas para executá-lo (ROZENFELD et al., 2006). A incorporação do desenvolvimento sustentável pode ser entendida neste contexto como uma estrutura que abrange conceitos, estratégias, processos sistematizados, linhas guia, listas de checagem, regras, métodos e ferramentas que indicam uma mudança nas atitudes relacionadas às questões ambientais no PDP (GUELERE FILHO; ROZENFELD, 2006).

Nas fases iniciais do PDP é que são definidas as principais soluções construtivas e especificações dos produtos (materiais, tecnologia, processo de fabricação, etc.), que correspondem a 85% do custo do produto final. São nessas fases que se tem o maior grau de incerteza sobre o produto e suas especificações, sobre o seu processo de fabricação e mesmo se ele será um sucesso no mercado. O custo de modificação de uma decisão anterior de projeto aumenta ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (ROZENFELD et al, 2006).

De forma análoga, as maiores oportunidades de melhorias ambientais de um produto estão nas primeiras fases do seu processo de desenvolvimento, em que os graus de liberdade no estabelecimento das características do produto e o potencial para melhorias ambientais são grandes. Estimativas apontam que de 60 a 80% do impacto ambiental total de um produto é estabelecido nestas fases. Conforme as características e os detalhes do produto vão sendo determinados, os graus de liberdade das escolhas vão diminuindo gradualmente. Nas fases finais do processo, o conhecimento do produto é grande, mas as possibilidades de mudança do projeto são pequenas devido ao grande número de decisões que já foram tomadas durante o processo. Neste ponto, as opções de melhoria ambiental se restringem aos processos de produção, logística, reciclagem, etc. (BYGGETH; HOCHSCHORNER, 2006; LUTTROP; LAGERSTEDT, 2006; MANZINI; VEZZOLI, 1998; NIELSEN; WENZEL, 2001; JESWIET; HAUSCHILD, 2005; JOHANSSON, 2002; SIMON et al, 1999).

De acordo com o modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos desenvolvido por Rozenfeld et al (2006), as fases iniciais do PDP correspondem ao Projeto Conceitual e Projeto Informacional. Adicionalmente, percebeu-se durante a realização do trabalho a importância da consideração também do projeto detalhado. Devido a isso, as atividades relacionadas a essas fases do modelo de referência, em que os métodos e ferramentas do ecodesign precisam ser integrados de modo que se obtenha um produto com melhor desempenho ambiental, serão especificadas aqui. Todas as informações referentes às

fases de Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado foram obtidas de Rozenfeld et al (2006). Adicionalmente, são apresentadas em detalhe também as fases de Planejamento Estratégico de Produtos e Planejamento do Projeto, devido à importância da aplicação dos métodos e ferramentas do ecodesign também nessas fases.

### **1) Planejamento Estratégico de Produtos**

O Planejamento Estratégico de Produtos (PEP) é a primeira fase do modelo e inicia a macrofase de pré-desenvolvimento. O objetivo do PEP é obter um plano contendo um portfólio de produtos da empresa a partir do Planejamento Estratégico da Unidade de Negócios. Para os produtos em comercialização, esse portfólio de produtos deve incluir uma previsão de retirada do produto do mercado. É preciso conter uma primeira descrição das características dos novos produtos a serem desenvolvidos e metas para início de desenvolvimento, lançamento e retirada do mercado. Esse plano parte da estratégia de negócios, corporativa e/ou da unidade de negócio, e a sua adequação a ela é fundamental. As atividades/tarefas da fase de Planejamento Estratégico são apresentadas na tabela 1.

A primeira atividade dessa fase, “Definir escopo da revisão do PEN” trata da determinação do nível de avaliação do Planejamento Estratégico e do nível de análise necessário para que as atividades de planejamento sejam realizadas. A próxima atividade, “Planejar atividades para a revisão do PEN” trata da definição das atividades, prazos e recursos necessários e pode ser realizada concomitantemente com a fase anterior.

“Consolidar informações sobre tecnologia e mercado” é uma tarefa importante à medida que todas as decisões referentes ao planejamento estratégico dependem do conhecimento das pessoas em relação ao ambiente, isto é, mudanças nos competidores, concorrentes e novas tecnologias. As informações devem ser utilizadas na criação de cenários futuros antevendo as tecnologias mais maduras e competitivas em termos de custo/benefício.

Tabela 1: Tarefas e Atividades do Planejamento Estratégico de Produtos

| <b>Planejamento Estratégico de Produtos</b>   |  |
|---|--|
| <b>1.1 Definir escopo da revisão do Plano Estratégico de Negócios (PEN)</b>                 |  |
| Analisar o plano estratégico de Negócios  |  |
| Listar assuntos a serem discutidos  |  |
| Avaliar competências no time de planejamento estratégico de produtos                        |  |
| Definir metodologia da revisão/desenvolvimento do PEN                                       |  |
| Definir o prazo final   |  |
| Compilar a declaração de escopo do PEN  |  |
| <b>1.2 Planejar atividades para a revisão do PEN</b>  |  |
| Planejar atividades   |  |
| Definir agendas de decisões e discussões  |  |
| Planejar os recursos físicos necessários em cada reunião                                    |  |
| Preparar plano de comunicação e de riscos   |  |
| <b>1.3 Consolidar Informações sobre tecnologia e mercado</b>                                |  |
| Consolidar Informações de fontes de dados secundárias                                       |  |
| Identificar necessidade de dados primários  |  |
| Planejar coleta de dados primários  |  |
| Consolidar informações  |  |
| <b>1.4 Revisar o PEN</b>  |  |
| Revisar Missão  |  |
| Revisar segmentação do mercado  |  |
| Revisar tendências tecnológicas   |  |
| Revisar posicionamento no mercado   |  |
| Revisar direcionamento da UM  |  |
| Revisar competências  |  |
| Revisar Recursos Necessários  |  |
| Revisar Metas   |  |
| Preparar Documento  |  |
| <b>1.5 Analisar o Portfólio de Produtos da Empresa</b>                                      |  |
| Revisar/definir metodologia de avaliação de portfólio                                       |  |
| Avaliar o posicionamento dos produtos   |  |
| Avaliar o desempenho dos produtos   |  |
| Avaliar tecnologias e plataformas utilizadas  |  |
| Consolidar lista de idéias de novos produtos  |  |
| Analisar projetos   |  |
| <b>1.6 Propor mudanças no portfólio de produtos</b>   |  |
| Identificar produtos a serem descontinuados   |  |
| Identificar projetos a serem abandonados e congelados                                       |  |
| Identificar novos projetos que deverão ser iniciados  |  |
| Preparar minutas para cada um dos novos projetos  |  |
| Consolidar o novo portfólio de produtos   |  |
| <b>1.7 Verificar viabilidade do portfólio de produtos</b>                                   |  |
| Avaliar viabilidade econômica do portfólio de projetos                                      |  |
| Avaliar disponibilidade de recursos   |  |
| Avaliar competências  |  |
| Obter consenso sobre decisão final  |  |
| <b>1.8 Decidir início do planejamento de um produto do portfólio</b>                        |  |
| Monitorar o portfólio de produtos (avançado) e identificar a data dos novos projetos        |  |
| Revisar a minuta do projeto, definir o gerente de projeto, aprovar e realizar a comunicação |  |

A atividade “Revisar o PEN” é composta por tarefas que tem como objetivo revisar a missão da organização, a segmentação do mercado, o posicionamento no mercado diante da concorrência e da percepção das linhas de produtos pelos clientes, as tendências tecnológicas, o direcionamento estratégico da unidade de negócio, as competências, os recursos necessários, as metas e, finalmente, preparar documento sobre resultados da revisão do PEN.

“Analisar o portfólio de produtos da empresa” é a atividade que avalia o portfólio de produtos para a obtenção de sugestões (idéias) de mudanças e possíveis novos produtos. Devem-se definir os projetos a serem desenvolvidos e produtos que devem permanecer no mercado. A próxima atividade, “Propor mudanças no portfólio de produtos” tem como resultado final o novo portfólio de produtos da empresa. Um dos aspectos fundamentais nessa mudança vai além dos critérios de avaliação de portfólio de produtos e deve considerar o aspecto de diferenciação e do posicionamento.

“Verificar a viabilidade do portfólio de produtos”, a próxima atividade a ser realizada, trata da avaliação da viabilidade econômica, de recursos e de capacitação para a implantação do portfólio planejado. Finalmente, “Definir o início do planejamento de um dos produtos do portfólio”, a última atividade no Planejamento Estratégico, é a primeira específica para um determinado projeto de produto. A minuta do projeto é revisada para incorporar possíveis alterações no portfólio entre o tempo de sua primeira versão e o momento atual.

## **2) Planejamento do Projeto**

As atividades do Planejamento do Projeto devem identificar todas as atividades, recursos e a melhor forma de integrá-los para que o projeto apresente o mínimo de erros. Deve prever as necessidades de integração de informações e decisões entre as áreas funcionais e outros projetos, contribuindo para a coordenação e comunicação no projeto. As atividades e tarefas realizadas durante a fase de Planejamento do Projeto são apresentadas na tabela 2.

Tabela2: Tarefas e Atividades do Planejamento do Projeto

| Planejamento do Projeto   |
|---|
| 2.1 Definir interessados do projeto   |
| Planejamento organizacional dos interessados do projeto   |
| Montagem da equipe com os interessados do projeto   |
| Desenvolvimento da equipe para a execução do projeto  |
| 2.2 Definir escopo do produto   |
| Realizar reuniões para estudo da minuta de projeto e do portfólio de produtos                                     |
| Definir diretrizes básicas que o produto deverá atender   |
| 2.3 Definir escopo do projeto   |
| Realizar reuniões para preparação da declaração do escopo do produto e das restrições impostas pelo DP da empresa |
| 2.4 Detalhar escopo do projeto  |
| Preparar EDT  |
| Revisar a declaração do escopo do projeto   |
| 2.5 Adaptar o modelo de referência  |
| Classificar o projeto   |
| Identificar a versão adaptada do modelo   |
| Identificar necessidades de mudanças  |
| 2.6 Definir atividades e seqüência  |
| Identificar atividades  |
| Definir relacionamentos entre as atividade  |
| Analisar a rede do projeto  |
| 2.7 Preparar cronograma   |
| Estimar esforço necessário para a atividade   |
| Alocar recursos necessários   |
| Otimizar a programação de atividades e recursos   |
| Imprimir cronograma   |
| 2.8 Avaliar riscos  |
| Planejar avaliação de risco do projeto de DP  |
| Identificar e caracterizar os riscos potenciais   |
| Analisar qualitativamente e quantitativamente os riscos potenciais  |
| Planejar ações em resposta aos riscos potenciais  |
| Planejar o controle e a monitoração de riscos   |
| 2.9 Preparar orçamento do projeto   |
| Previsões dos custos relacionados às atividades e recursos  |
| Alocação orçamentária dos custos estimados  |
| 2.10 Analisar a viabilidade econômica do projeto  |
| Definir custo-alvo  |
| Verificar manufacturabilidade do custo-alvo   |
| Definir volume de vendas  |
| Realizar avaliação econômica  |
| 2.11 Definir indicadores de desempenho  |
| Selecionar indicadores de desempenho mais adequados para o presente projeto                                       |
| 2.12 Definir plano de comunicação   |
| 2.13 Planejar e preparar aquisições   |
| Planejar o que será adquirido e quando  |
| Preparar requerimentos de aquisição e identificar fornecedores potenciais   |
| Planejar a gestão dos relacionamentos com os fornecedores   |
| 2.14 Preparar Plano de Projeto  |
| Discussão e redação do plano de projeto   |

A atividade “Definir interessados do projeto” trata da definição dos interessados no projeto, que são os indivíduos e as organizações envolvidos diretamente e aqueles que, de alguma forma, serão afetados por sua existência, além das suas necessidades, limitações e o tipo de envolvimento que terão com o projeto. Deve prever o envolvimento ao longo do projeto tanto dos atores internos à organização quanto externos, como a participação de fornecedores e de outros parceiros estratégicos ao longo do desenvolvimento do produto.

“Definir o escopo do produto” trata da sintetização das características e funções do produto, é composto por uma lista das duas características e funções. Os parâmetros devem ser quantitativos e apresentar metas claras e inequívocas, mesmo quando qualitativos. Como resultado, deverão ser definidos os parâmetros básicos e as funcionalidades que caracterizam o produto, de forma compreender-se o que será fornecido ao cliente.

“Definir escopo do projeto” é a atividade base para todo o Planejamento do Projeto, são utilizadas informações do escopo e da descrição do produto, e uma definição inicial de restrições e premissas que o projeto precisa respeitar. A definição de escopo do projeto também deve deixar claras as justificativas ou razões pelas quais o projeto deve ser realizado.

“Detalhar o escopo do projeto” tem os seguintes propósitos: uma melhor precisão de estimativas de custos, tempos e recursos; a definição de padrões mais objetivos para medir e controlar o desempenho e uma atribuição mais clara e precisa de responsabilidade. “Adaptar o modelo de referência” trata da adaptação do modelo de referência específico adotado na empresa, de forma que venha a ser utilizado para o projeto do novo produto em questão.

“Definir atividades e sequência” objetiva planejar as ações que devem ser executadas no projeto, isto é, identificá-la e relacioná-las. Na atividade “Preparar Cronograma”, o gerente de projeto definirá uma programação de datas de início e fim das atividades. Essa estimativa depende do esforço necessário para a realização da atividade e da quantidade de recursos disponíveis, que deverão ser definidas em detalhes nesse momento.

“Avaliar riscos” trata das condições de risco. Quanto maior a incerteza e imprevisibilidade da ocorrência de eventos indesejáveis ao longo do projeto e quanto menos possibilidades de soluções disponíveis caso um evento ocorra, maior o potencial de riscos do projeto, o que compromete o seu custo, cronograma e/ou qualidade. Os maiores riscos deverão ter mais de um tipo diferente de ação. O resultado desta tarefa é o plano de resposta aos riscos, além de acordos contratuais.

A atividade “Preparar orçamento do projeto” trata da preparação de todo o orçamento do projeto, de acordo com o cronograma e declaração de escopo. “Analisar a viabilidade econômica do projeto” significa estimar e analisar as perspectivas de desempenho financeiro do produto resultante do projeto. São definidos os principais indicadores financeiros relacionados ao produto final, tais como custo alvo do produto, as previsões de retorno do investimento e a análise das suas características.

“Definir indicadores de desempenho” significa escolher aqueles mais propícios para avaliar a execução do projeto, dadas as suas características e tipo. Esses indicadores serão empregados no acompanhamento e avaliação das cinco fases do desenvolvimento do produto. “Definir plano de comunicação” refere-se às ações necessárias para que ocorra a geração, coleta, disseminação, armazenamento e descarte das informações que envolvem o projeto.

“Planejar e preparar aquisições” envolve planejar o que será necessário adquirir externamente para a realização do projeto e sua posterior produção, em fornecedores ou outros parceiros, ou ainda em outras unidades da empresa. Finalmente, “Preparar plano de projeto” é responsável pela criação do Plano de Projeto, um documento que guiará o controle da execução do projeto e documentará tanto as premissas quanto as decisões tomadas no Planejamento do Projeto. Realizam-se então as atividades genéricas “Avaliar fase” e “Aprovar fase”.

### 3) Projeto Informacional

O objetivo da fase de Projeto Informacional é, a partir das informações levantadas no planejamento e em outras fontes, desenvolver o conjunto das especificações-meta do produto, que devem ser o mais completo possível. Essas especificações, além de orientar a geração de soluções, fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento. As atividades e tarefas realizadas durante a fase de Projeto Informacional são apresentadas na tabela 3.

A primeira atividade dessa fase, “Atualizar o Plano do Projeto Informacional”, tem como objetivo compatibilizar o planejamento desta fase com o efetuado na fase de Planejamento do Projeto. A atividade “Revisar e Atualizar o Escopo do Produto” trata do estudo do problema de projeto associado ao Escopo do Produto. As informações sobre tecnologias e métodos de fabricação existentes e levantadas na fase de planejamento estratégico, para todo o portfólio de produtos, são reutilizadas, atualizadas e incrementadas nessa atividade. De maneira similar, devem ser pesquisadas patentes, normas, padrões e legislações sobre o produto que vai ser projetado e informações sobre produtos concorrentes e similares no mercado.

A atividade “Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes” trata da definição do ciclo de vida mercadológico e material do produto e da definição dos clientes do produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. É importante ressaltar que o ciclo de vida é único para cada produto possui e depende de vários fatores, como tipo de produto que vai ser projetado, tipo de projeto a ser executado, escala de produção, características de funcionamento, características de uso e manuseio, serviços de manutenção e filosofia de desativação. A visão do relacionamento entre ciclo de vida do produto e seus clientes é de grande interesse ao PDP, pois fornece uma visão mais ampla de todo o processo, permitindo o desenvolvimento de soluções específicas para cada um desses clientes.

Tabela3: Tarefas e Atividades do Projeto Informacional

| Projeto Informacional   |
|---|
| 3.1 Atualizar o Plano do Projeto Informacional  |
| Analisar o plano de projeto atual   |
| Analisar e sintetizar as novas condições para a realização do projeto                     |
| Atualizar o escopo do produto   |
| Atualizar e detalhar o escopo do projeto  |
| Atualizar e detalhar as atividades, os responsáveis, os prazos e o cronograma             |
| Atualizar e detalhar recursos necessários   |
| Atualizar estimativa de orçamento do projeto  |
| Atualizar, monitorar, valorar e definir novos indicadores de desempenho                   |
| Analisar a viabilidade econômico-financeira do projeto                                    |
| Avaliar novos riscos  |
| Atualizar plano de comunicação  |
| Planejar, atualizar e preparar novas aquisições   |
| Definir/atualizar os critérios de passagem dos gates                                      |
| 3.2 Revisar e Atualizar o Escopo do Produto   |
| Análise do problema de projeto  |
| Analisar tecnologias disponíveis e necessárias  |
| Pesquisar padrões / normas, patentes e legislação   |
| Pesquisar produtos concorrentes e similares   |
| 3.3 Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes                             |
| Refinar o ciclo de vida do produto  |
| Definir os clientes do projeto ao longo do ciclo de vida                                  |
| 3.4 Identificar os requisitos dos clientes do produto                                     |
| Coletar as necessidades dos clientes de cada fase do ciclo de vida                        |
| Agrupar e classificar as necessidades   |
| Definir os requisitos dos clientes  |
| Valorar dos requisitos dos clientes   |
| 3.5 Definir requisitos do produto   |
| Converter requisitos de clientes em expressões mensuráveis                                |
| Analisar e classificar os requisitos do produto   |
| Hierarquizar requisitos de projeto do produto   |
| 3.6 Definir especificações meta do produto  |
| Valorar requisitos do produto   |
| Analisar perfil técnico e de mercado  |
| Analisar restrições de projeto do produto (contrato, ambientais, legislação, normas, ...) |
| Elaborar o conjunto de especificações-meta do produto                                     |
| 3.7 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto                               |
| 3.8 Avaliar fase  |
| 3.9 Aprovar fase  |
| 3.10 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas                         |

“Detalhar os requisitos dos clientes do produto” é uma atividade que busca obter a voz dos clientes. Posteriormente, é realizada a atividade “Definir os requisitos dos produtos”, em que são obtidos os requisitos dos produtos a partir dos requisitos dos clientes. Após a

conversão, é analisada a correlação entre os requisitos dos clientes e os requisitos do produto e avalia-se com que intensidade um requisito do produto contribui para o requisito do cliente.

A próxima “Definir as especificações-meta do produto” define as especificações-meta do produto (compostas por unidades e valores-meta). As especificações de projeto, além de proporcionar um guia para a obtenção de concepções para o produto, devem refletir os elementos em relação às quais serão avaliados depois do projeto e do produto resultante.

“Monitorar a viabilidade econômica e financeira” é uma atividade em que a equipe de projeto deve verificar inicialmente se foram considerados as necessidades e os requisitos de custo, ou seja, se as informações em termos dos custos nas diversas etapas do ciclo de vida do produto foram devidamente levadas em conta. Por fim, as atividades “Avaliar fase” e “Aprovar fase” seguem o padrão da atividade genérica realizada ao final de cada uma das fases do processo de desenvolvimento de produto, para decisão quanto ao futuro do projeto que está sendo desenvolvido.

#### **4) Projeto Conceitual**

Na fase de Projeto Conceitual, as atividades da equipe de projeto relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema do projeto. As atividades e tarefas realizadas durante a fase de Projeto Conceitual são apresentadas na tabela 4.

A primeira atividade dessa fase, “Atualizar o Plano do Projeto Conceitual”, tem como objetivo compatibilizar o planejamento desta fase. É seguida pela atividade “Modelar funcionalmente o produto”, em que os produtos são descritos em termos das suas funções em um nível abstrato, obtendo-se a estrutura do produto sem restringir o espaço de pesquisa a soluções específicas. No modelamento funcional elabora-se uma descrição da função total do produto. A decomposição da função global permite que sejam propostas diferentes estruturas funcionais que satisfaçam a função global.

Tabela4: Atividades e tarefas realizadas no Projeto Informacional

| Projeto Conceitual  |
|---|
| 4.1 Atualizar o Plano do Projeto Conceitual                                   |
| Analisar o plano de projeto atual   |
| Analisar e sintetizar as novas condições para a realização do projeto         |
| Atualizar o escopo do produto   |
| Atualizar e detalhar o escopo do projeto                                      |
| Atualizar e detalhar as atividades, os responsáveis, os prazos e o cronograma |
| Atualizar e detalhar recursos necessários                                     |
| Atualizar estimativa de orçamento do projeto                                  |
| Atualizar, monitorar, valorar e definir novos indicadores de desempenho       |
| Analisar a viabilidade econômico-financeira do projeto                        |
| Avaliar novos riscos  |
| Atualizar plano de comunicação  |
| Planejar, atualizar e preparar novas aquisições                               |
| Definir/atualizar os critérios de passagem dos gates                          |
| 4.2 Modelar funcionalmente o produto  |
| Analisar as especificações-meta do produto                                    |
| Identificar as funções do produto   |
| Estabelecer a função global   |
| Estabelecer estruturas funcionais alternativas                                |
| Selecionar a estrutura funcional  |
| 4.3 Desenvolver princípios de solução para as funções                         |
| Definir efeitos físicos   |
| Definir portadores de efeito  |
| 4.4 Desenvolver as alternativas de solução para o produto                     |
| 4.5 Definir arquitetura para o produto  |
| Identificar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)                         |
| Definir integração entre SSCs das alternativas de projeto                     |
| 4.6 Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC)                        |
| Identificar e analisar aspectos críticos do produto                           |
| Definir parâmetros principais (forma, materiais, dimensões e capacidades)     |
| 4.7 Definir ergonomia e estética  |
| 4.8 Definir fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento                    |
| 4.9 Selecionar a concepção do produto   |
| Analisar as concepções alternativas   |
| Valorar as concepções alternativas  |
| Selecionar concepções mais adequadas  |
| 4.10 Planejar o processo de manufatura macro/Definir plano macro de processo  |
| 4.11 Atualizar estudo de viabilidade econômica                                |
| Avaliar arquiteturas geradas  |
| 4.12 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto                  |
| 4.13 Avaliar fase   |
| 4.14 Aprovar fase   |
| 4.15 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas             |

“Desenvolver princípios de solução para as funções” é a atividade que trata da atribuição de um ou mais princípios de solução a cada uma das funções da estrutura funcional. Nos

princípios de solução, não se devem referenciar os materiais específicos a serem utilizados, apenas atributos referentes às propriedades desses materiais devem ser especificados.

A atividade “Desenvolver as alternativas de solução para o produto” trata da combinação dos princípios de solução individuais para formar os princípios de solução totais do produto. “Definir a arquitetura” é a fase do Projeto Conceitual em que o produto é visto como sendo composto de diferentes partes, as quais estão relacionadas com os princípios de solução individuais adotados nos princípios de solução total e com as funções a eles atribuídas. Dessa forma, as alternativas de solução são desdobradas em Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs) que deverão atender às funções do produto. A arquitetura do produto define como os componentes físicos se relacionam, definindo também como o produto pode ser modificado.

“Analisar Sistemas, Subsistemas e Componentes” é uma atividade na qual são identificados e analisados aspectos críticos do produto observados no seu ciclo de vida, como questões de funcionamento, fabricação, montagem, desempenho, qualidade, custos, uso, descarte e outros. As informações aqui levantadas são importantes para a definição de parcerias de co-desenvolvimento e identificação de possíveis processos de fabricação dos componentes e de montagem. Os modelos de princípios de solução total do produto devem ser desenvolvidos para se chegar aos modelos de concepção do produto, que deve ser suficientemente detalhado para ser possível verificar custos, pesos e dimensões totais aproximadas, inclusive com a seleção dos materiais a serem utilizados. Dessa forma é possível gerar um BOM (Bill of Material, Estrutura do Produto) inicial para cada concepção desenvolvida. Nessa atividade devem ser consideradas ainda as questões ambientais, o projeto para a manufatura, o projeto para a montagem, etc.

A próxima atividade, “Definir ergonomia e estética do produto” considera os fatores humanos para todas as pessoas que entrarem em contato com o produto, seja na etapa de manufatura, operação, manutenção, reparo, uso ou descarte. Os fatores humanos estão

fortemente relacionados com a qualidade e a segurança do produto. “Definir fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento” é uma atividade crucial, já que o envolvimento dos fornecedores no desenvolvimento de produtos é um dos fatores responsáveis pela melhora do desempenho desse processo em termos de produtividade, velocidade e qualidade do produto. Para a escolha dos fornecedores devem ser considerados os seguintes critérios: perfil da empresa, gerenciamento, meio ambiente, qualidade, logística, precisão na entrega, pós mercado, competência, desenvolvimento de produto, produtividade e compras.

“Selecionar a concepção do produto” tem como objetivo escolher, dentre as concepções geradas, o melhor desses conceitos – o qual será transformado no produto final. A principal dificuldade envolvida nessa tarefa são as informações técnicas ainda limitadas e abstratas. A atividade “Definir plano macro de processo” tem o objetivo principal de identificar os possíveis processos de fabricação dos SSCs e o ferramental envolvido em tais processos. A seleção de um processo particular depende não apenas da forma a ser produzida, mas também de um grande número de fatores, como o tipo de material e as suas propriedades. Finalmente, as atividades “Atualizar estudo de viabilidade econômico-financeira”, “Avaliar fase” e “Aprovar fase” são realizadas.

## **5) Projeto Detalhado**

O Projeto Detalhado dá prosseguimento à fase anterior, e tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto, para então serem encaminhados à manufatura e às outras fases do desenvolvimento. As atividades e tarefas realizadas durante a fase de Projeto Detalhado são apresentadas na tabela 5.

Como em todas as fases anteriores da macrofase de desenvolvimento, a atividade “Atualizar o plano do projeto detalhado” pertence à área de conhecimento da Gestão de Projetos. É quando se atualiza o plano do projeto criado na fase de planejamento do produto.

Tabela 5: Atividades e tarefas realizadas durante a fase de Projeto Detalhado (continua)

| Projeto Detalhado  |
|--|
| 5.1 Atualizar o Plano do Projeto Detalhado   |
| 5.2 Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração   |
| Criar, reutilizar, procurar e codificar SSCs   |
| Calcular e desenhar SSCs   |
| Especificar tolerâncias  |
| Integrar os SSCs   |
| Finalizar desenhos e documentos  |
| Completar BOM  |
| 5.3 Decidir por fazer ou comprar SSC   |
| Levantar informações de custos, tempo, capacidades e competências para o desenvolvimento/fornecimento dos SSCs |
| Orçar os SSCs dos fornecedores   |
| Decidir entre desenvolver e produzir ou comprar SSC  |
| Estimar os custos dos SSCs para a empresa  |
| 5.4 Desenvolver fornecedores   |
| Selecionar fornecedores  |
| Enviar/atualizar especificações do produto   |
| Avaliar amostras dos SSC recebidos   |
| Homologar fornecedores   |
| 5.5 Planejar o processo de fabricação e montagem   |
| Planejar processo de fabricação macro  |
| Planejar processo de montagem macro  |
| Desdobrar parâmetros críticos dos componentes fabricados   |
| Reutilizar planos de processo existentes   |
| Definir / Avaliar componente em bruto  |
| Definir e Sequenciar operações   |
| Selecionar / Especificar máquinas e equipamentos   |
| Selecionar / Especificar pessoal e habilidades   |
| Especificar fixação  |
| Especificar inspeção   |
| Selecionar / Especificar métodos   |
| Selecionar / Especificar ferramental   |
| Calcular sobremetal  |
| Calcular parâmetros de trabalho  |
| Descrever instruções de trabalho   |
| Ilustrar operações   |
| Obter programa CNC   |
| Criar informações / documentos de apoio ao operador  |
| Calcular tempos de fabricação e montagem   |
| Otimizar fluxo de produção analiticamente  |
| Simular processo de fabricação   |
| Atualizar BOM  |
| 5.6 Projetar recursos de fabricação  |
| Projetar Ferramentas   |
| Projetar Dispositivos  |
| Projetar Máquinas e Equipamentos   |
| Projetar Instalações (Fábrica)   |
| Avaliar projeto  |
| 5.7 Avaliar SSCs, configuração e documentação do produto e processo  |

Tabela 6: Atividades e tarefas realizadas durante a fase de Projeto Detalhado (continuação)

|  |
|--|
| Analisar falhas  |
| Avaliar Tolerancia Analiticamente  |
| Planejar os testes (produto e processo)  |
| Desenvolver modelos para testes (elaborar modelos matemáticos e/ou fabricar/receber o protótipo) |
| Executar os testes   |
| Avaliar os resultados e planejar ações   |
| Avaliar consonância da documentação com as normas  |
| 5.8 Otimizar Produto e Processo  |
| Finalizar aplicacao DFX  |
| Ajustar tolerancia dos SSCs  |
| Executar ações de correção de falhas   |
| 5.9 Criar material de suporte do produto   |
| Criar manual de operação do produto  |
| Criar material de treinamento  |
| Criar manual de descontinuidade do produto   |
| 5.10 Projetar embalagem  |
| Avaliar a distribuição do produto: transporte e entrega  |
| Definir as formas e as sinalizações das embalagens do produto                                    |
| Identificar os elementos críticos  |
| Adequar embalagem aos elementos críticos   |
| Projetar embalagem   |
| Planejar processo de embalagem   |
| 5.11 Planejar fim de vida do produto   |
| Definir plano de retirada do mercado   |
| Definir plano de descontinuidade da produção   |
| Definir plano de descarte  |
| Definir plano de reciclagem  |
| 5.12 Testar e Homologar produto  |
| verificar a documentacao   |
| verificar a funcionalidade do produto  |
| verificar o atendimento aos requisitos   |
| verificar o atendimento a normas   |
| obter certificado de homologação   |
| 5.13 Enviar documentação do produto a parceiros  |
| 5.14 Monitorar a viabilidade econômico-financeira do produto                                     |
| 5.15 Avaliar fase  |
| 5.16 Aprovar fase  |
| 5.17 Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas                                |

A atividade “Criar e detalhar SSCs, documentação e configuração” deve detalhar a concepção do produto. Ela tem a finalidade de criar todos os Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs) do produto, produzir as documentações finais e detalhadas, que compreendem todos os desenhos dos SSCs com cotas e tolerâncias finais, e a configuração final do produto, na maior parte das vezes refletidas na Estrutura do Produto (BOM).

“Decidir fazer ou comprar SSCs” é a atividade em que deve se levantar as informações de custos, tempo, capacidades e competências para o desenvolvimento ou fornecimento dos SSCs para que se defina se um determinado SSC será produzido ou comprado. A atividade “Desenvolver fornecedores” trata da contratação dos fornecedores dos itens comuns, já que no projeto conceitual foram fechadas as parcerias de co-desenvolvimento.

Durante a atividade “Planejar processo de fabricação e montagem” o plano macro conceitual criado no projeto conceitual é atualizado, um novo pode ser criado e suas operações são detalhadas. Para os novos SSCs, que são criados somente na fase de projeto detalhado, a primeira definição dos processos acontece nessa atividade. “Projetar recursos de fabricação” é a atividade que compreende o projeto das máquinas, equipamentos, ferramental e instalações. A atividade “Avaliar SSCs, configuração e documentação do produto e processo” faz parte do ciclo de otimização e acontece paralelamente à atividade de criação e detalhamento dos SSCs, verificando se existe algum problema no item, na sua integração com o item-pai ou na sua aplicação. Ela acontece de forma paralela à atividade de planejamento de processo, que pode exigir uma mudança nas especificações dos componentes.

A atividade “Otimizar produto e processo” pode ocorrer ou não, dependendo da avaliação dos SSCs quanto ao potencial de otimização. A aplicação do método FMEA pode resultar em uma lista de ações que devem ser realizadas nessa atividade de otimização, visando eliminar as falhas potenciais levantadas. “Criar material de suporte do produto” tem como tarefas criar manual de operação do produto, material de treinamento e manual de descontinuidade do produt. O próprio plano de fim de vida prevê na fase de descontinuar o produto que serão tomadas decisões sobre a logística de descontinuidade do produto.

A atividade “Projetar embalagem” compreende a análise e definição da finalidade da embalagem, a identificação dos elementos críticos do produto em relação à embalagem, visando a sua adequação e compatibilização, e realização do projeto e processo de

embalagem. Conforme a complexidade da embalagem, o seu processo de desenvolvimento é um subconjunto das atividades desta fase.

“Planejar fim de vida do produto” é uma atividade formal com o objetivo de consolidar as informações levantadas ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto em um plano de fim de vida. Essas informações agregam todas as características do produto voltadas para o meio ambiente e para a descontinuidade da produção e finalização do suporte.

A próxima atividade, “Testar e homologar produto” está relacionada à garantia da qualidade do produto e fornece um aspecto formal ao processo, tornando-se um ponto de convergência e integração de todas as atividades relacionadas com averiguações do produto. “Enviar documentação do produto a parceiros” é a próxima atividade a ser realizada.

Finalmente, são realizadas as atividades “Monitorar a viabilidade econômico-financeira”, “Avaliar fase” e “Aprovar fase” que seguem o padrão da atividade. Ao final da fase todas as informações criadas são organizadas como especificações finais e equivalem à configuração do produto com o status “como projetado”. Durante o desenvolvimento, elas ainda podem ser modificadas, mas, nesses casos, recebem outro status. Além disso, durante o ciclo de vida do produto, a organização das informações garante a sua rastreabilidade.



## Anexo 1

### Questões para preenchimento da DfE Matrix

#### A – Pré-manufatura

##### A.1: Pré-manufatura X Materiais

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA) em andamento?

0% ou desconhecido = 0 pontos

*1 a 5% = 2 pontos*

*6 a 25% = 3 pontos*

*26 a 50% = 4 pontos*

*>50% = 5 pontos*

##### A.2: Pré-manufatura X Consumo de Energia

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui práticas de conservação de energia formais em andamento?

*1 a 5% = 2 pontos*

*6 a 25% = 3 pontos*

*26 a 50% = 4 pontos*

*>50% = 5 pontos*

##### A.3: Pré-manufatura X Resíduos Sólidos

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui ISO 9000 ou ISO 14000 em andamento ou regularmente publicam relatórios ambientais da empresa?

*1 a 5% = 2 pontos*

*6 a 25% = 3 pontos*

*26 a 50% = 4 pontos*

*>50% = 5 pontos*

#### A.4: Pré-manufatura X Efluentes Líquidos

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa de conservação da água?

*1 a 5% = 2 pontos*

*6 a 25% = 3 pontos*

*26 a 50% = 4 pontos*

*>50% = 5 pontos*

#### A.5: Pré-manufatura X Emissões Gasosas

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa formal em andamento para a minimização das emissões gasosas?

*1 a 5% = 2 pontos*

*6 a 25% = 3 pontos*

*26 a 50% = 4 pontos*

*>50% = 5 pontos*

### B – Manufatura

#### B.1: Manufatura X Materiais

Para esse produto ou componente:

|    |   | Sim | Não |
|----|---|-----|-----|
| 1. | O uso de materiais recicláveis no seu produto é o maior possível? | 1   | 0   |
| 2. | Os materiais perigosos foram evitados ou minimizados?             | 2   | 0   |
| 3. | A quantidade de material utilizado foi minimizado?                | 1   | 0   |
| 4. | O número de tipos de materiais que são usados foi minimizado?     | 1   | 0   |

Pontos Totais para o Elemento B1 da Matriz

## B.2: Manufatura X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | N |
|--|-----|---|
| 1. O processo de manufatura minimiza o uso intensivo de energia dos processos?   | 2   |   |
| 2. Os processos de manufatura usam co-geração, troca de calor ou outras técnicas para utilizar a energia desperdiçada? | 2   |   |
| 3. O transporte entre a manufatura e os pontos de montagem são mínimos?  | 1   |   |
| Pontos Totais para o Elemento B2 da Matriz   |     |   |

## B.3: Manufatura X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. A perda de materiais foi minimizada e o reuso otimizado ao máximo durante a manufatura?   | 1   | 0   |
| 2. Os fornecedores de matéria-prima e componentes foram contactados para encorajá-los a minimizar as quantidades e tipos de embalagem dos seus produtos? | 1   | 0   |
| 3. Sua empresa maximizou as oportunidades de reusar e reduzir os resíduos de embalagem quando os componentes são transportados entre as instalações?     | 1   | 0   |
| 4. A introdução intencional de todo chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente foi evitada?  | 2   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento B3 da Matriz   |     |     |

## B.4: Manufatura X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. Foram investigadas alternativas para os solventes e óleos tóxicos usados?   | 2   | 0   |
| 2. As oportunidades para captura e reuso dos sub-produtos líquidos gerados durante o processo de manufatura foram maximizadas? | 1   | 0   |
| 3. A geração de poluentes da água foram evitadas ou minimizadas?   | 2   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento B4 da Matriz   |     |     |

## B.5: Manufatura X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A geração de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foram evitados?                            | 2   | 0   |
| 2. A geração de poluentes do ar perigosos foram evitados durante o processo de manufatura?  | 2   | 0   |
| O uso de solventes, tintas e adesivos com alta taxas de evaporação de compostos orgânicos voláteis foram eliminados ou minimizados? | 1   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento B5 da Matriz  |     |     |

## C – Distribuição e Embalagem

### C.1: Distribuição e Embalagem X Materiais

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. As opções de embalagens reusáveis para transporte foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa?     | 1   | 0   |
| 2. As opções de embalagens reusáveis para transporte foram exploradas para a distribuição entre a empresa e seus fornecedores? | 1   | 0   |
| 3. Materiais reciclados são usados nas embalagens para transporte e entrega do produto?  | 1   | 0   |
| 4. Materiais recicláveis são usados nas embalagens para transporte e entrega do produto?                                       | 1   | 0   |
| 5. O número de diferentes tipos de materiais usados na embalagem foram minimizados?  | 1   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento C1 da Matriz   |     |     |

### C.2: Distribuição e Embalagem X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| O material usado para a embalagem é ao mesmo tempo reusável e possui o menor volume e peso possível, mantendo as funções de transporte e embalagem final? | 5   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento C2 da Matriz  |     |     |

### C.3: Distribuição e Embalagem X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A embalagem foi desenvolvida para fácil separação entre os materiais, possibilitando o reuso e a reciclagem? | 1   | 0   |
| 2. Os tipos de embalagem comumente usadas são recicladas?   | 2   | 0   |
| 3. Os materiais da embalagem são claramente marcados e facilmente identificados por tipo de material?           | 2   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento C3 da Matriz  |     |     |

### C.4: Distribuição e Embalagem X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. A máxima prevenção quanto ao vazamento de líquidos perigosos durante o transporte foi tomada? | 5   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento C4 da Matriz   |     |     |

### C.5: Distribuição e Embalagem X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. As embalagens para transporte e consumo não contém polímeros clorados ou plásticos que possam produzir emissões gasosas perigosas caso incineradas a baixas temperaturas? | 3   | 0   |
| 2. A embalagens não contém retardantes bromados de inflamabilidade que possam produzir emissões se incineradas a baixas temperaturas?  | 2   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento C5 da Matriz   |     |     |

## D – Uso do Produto e Manutenção

### D.1: Uso do Produto e Manutenção X Materiais

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. O produto ou componente é facilmente desmontado para atualização, reparo ou reuso?   | 1   | 0   |
| 2. As partes deste produto ou componente estão prontamente disponíveis para o reparo?   | 1   | 0   |
| 3. As barreiras potenciais para a reciclagem, como uso de aditivos, tratamentos metálicos em plásticos, aplicação de pinturas no plástico ou o uso de materiais de composição desconhecidas foram evitadas? | 2   | 0   |
| 4. Os plásticos utilizados estão claramente identificados por tipo de resina?   | 1   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento D1 da Matriz  |     |     |

#### D.2: Uso do Produto e Manutenção X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O design do produto possibilita o mínimo consumo de energia durante o uso do produto?         | 2   | 0   |
| 2. Esse produto ou componente pode ter um ajuste de energia baseada na intensidade de atividade? | 3   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento D2 da Matriz   |     |     |

#### D.3: Uso do Produto e Manutenção X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. O design do produto evita o uso de componentes descartáveis como baterias e cartuchos?   | 1   | 0   |
| 2. Os elementos de ligação utilizados, como pregos e prendedores por pressão, possuem o mesmo tipo de cabeça? O uso de adesivos e soldas foram evitados para partes unidas de forma a facilitar a desmontagem, reparo, reuso ou reciclagem? | 2   | 0   |
| 3. O produto foi desenvolvido de forma a ser facilmente reparado e/ou atualizado preferencialmente do que substituído totalmente?   | 2   | 0   |
| Pontos Totais para o Elemento D3 da Matriz  |     |     |

#### D.4: Uso do Produto e Manutenção X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O uso dos produtos evita a liberação de substâncias conhecidas por serem poluentes da água? | 5   | 0   |

Pontos Totais para o Elemento D4 da Matriz

#### D.5: Uso do Produto e Manutenção X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A emissão de poluentes perigosos do ar foi evitada durante o uso e manutenção do produto?  | 2   | 0   |
| 2. A emissão de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foi evitada durante o uso e manutenção do produto? | 3   | 0   |

Pontos Totais para o Elemento D5 da Matriz

#### E – Fim de Vida

##### E.1: Fim de Vida X Materiais

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. Os materiais são facilmente reusados ou comumente reciclados?   | 1   | 0   |
| 2. Os materiais são de fácil separação e identificação por tipo?   | 1   | 0   |
| 3. Algum dos materiais utilizados precisa ser disposto como resíduo perigoso?  | 1   | 0   |
| 4. A introdução intencional de chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente nos materiais do produto foram evitadas? | 2   | 0   |

Pontos Totais para o Elemento E1 da Matriz

##### E.2: Fim de Vida X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. As partes de plástico e fibras podem ser seguramente utilizadas para geração de energia, como na incineração? | 2   | 0   |
| 2. Existem materiais perigosos que precisam ser transportados como resíduos perigosos para aterros industriais?  | 3   | 0   |

Pontos Totais para o Elemento E2 da Matriz

## E.3: Fim de Vida X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

- |  |   |   |
|--|---|---|
| 1. Existe infra-estrutura interna ou externa à empresa para recuperar/reciclar os resíduos sólidos?      | 2 | 0 |
| 2. O design do produto evita a ligação entre diferentes materiais que possam dificultar a sua separação? | 3 | 0 |

Pontos Totais para o Elemento E3 da Matriz

Sim Não

## E.4: Fim de Vida X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

- |  |     |     |
|--|-----|-----|
|  | Sim | Não |
| 1. O produto foi desenvolvido de forma a recuperar líquidos perigosos problemáticos durante a sua desmontagem? | 5   | 0   |

Pontos Totais para o Elemento E4 da Matriz

## E.5: Fim de Vida X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

- |   |     |     |
|---|-----|-----|
|   | Sim | Não |
| 1. A liberação de substâncias que causam a destruição da camada de ozônio e/ou o aquecimento global foram evitadas durante a disposição final do produto ou componente? | 2   | 0   |
| 2. Os gases contidos no produto podem ser recuperados durante a desmontagem pra que não sejam perdidos?   | 1   | 0   |
| 3. A liberação de substâncias poluentes do ar foi evitada durante a disposição final deste produto ou componente?   | 2   | 0   |

Pontos Totais para o Elemento E5 da Matriz

## **Anexo 2**

### **Questões para preenchimento da Eco-Function Matrix**

#### Perfil Funcional

As oito categorias do Perfil Funcional caracterizam as áreas de responsabilidade dos desenvolvedores de produtos nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos. O valor atribuído a cada categoria (de 0 a 10) é baseado no propósito e no campo de aplicação do produto e deve ser independente de todo e qualquer impacto ambiental. As categorias funcionais representam diferentes tipos de propriedades e áreas de responsabilidade para a funcionalidade de um produto e a sua viabilidade comercial. Todas as categorias são avaliadas qualitativamente, indicando a sua importância relativa.

- a) Tempo de vida útil do produto – Qual é o tempo de vida útil esperado para o produto?

0 a 3: tempo de vida útil curto, geralmente produtos descartáveis;

4 a 6: tempo de vida útil significativo, inclui os bens de consumo;

7 a 10: tempo de vida útil dominante.

- b) Tempo de uso do produto – Qual é o tempo de uso esperado para o produto?

0 a 3: produtos usados por pouco tempo;

4 a 6: produtos com tempo de uso significativo;

7 a 10: produtos com tempo de uso expressivo.

- c) Confiabilidade do produto – Quão importante é para o produto que a sua função seja satisfeita completamente?

0 a 3: não há grande importância se a função do produto não for atingida prontamente;

4 a 6: a confiabilidade do produto é importante, mas não crucial;

7 a 10: é essencial para o usuário e para a sociedade que a função principal do produto seja atingida quando necessário.

d) Segurança – Quão importante é a segurança do produto?

0 a 3: produtos que não são perigosos para o homem;

4 a 6: a segurança do produto é importante, mas não crucial;

7 a 10: a quebra ou o mau-funcionamento do produto pode levar à morte do usuário ou a acidentes graves.

e) Interação Homem/Máquina – Qual é a interação homem/máquina esperada para o produto?

0 a 3: a interação homem/máquina é de baixa importância;

4 a 6: há interação do produto o usuário;

7 a 10: o produto existe principalmente pela sua estética e ergonomia.

f) Economia – Qual é a sensibilidade da venda do produto em relação ao seu preço?

0 a 3: a venda do produto é independente do preço;

4 a 6: a venda do produto é dependente do seu preço;

7 a 10: a venda do produto é extremamente sensível ao seu preço.

g) Flexibilidade Técnica – Quão fortes são as demandas de flexibilidade técnica do produto?

0 a 3: o produto não é dependente de manutenção ou atualização;

4 a 6: a manutenção e atualização são importantes para o produto;

7 a 10: a manutenção e a atualização do produto são muito importantes.

h) Demanda Ambiental - Quão fortes são as demandas ambientais do produto?

0 a 3: as demandas ambientais são nulas ou muito baixas e a taxa de reciclagem é mínima;

4 a 6: as demandas ambientais são importantes;

7 a 10: as demandas ambientais são tão importantes que caracterizam o produto.

### Perfil Ambiental

O Perfil Ambiental identifica como o produto é caracterizado ambientalmente por meio da avaliação física dos seus atributos associadas ao impacto ambiental do produto. Os atributos foram selecionados de forma que sejam comumente conhecidos entre os desenvolvedores de produtos, que possam ser identificados nas fases iniciais do desenvolvimento e que possam ser logicamente relacionadas ao consumo de recursos e materiais e às categoriais funcionais do Perfil Funcional. As categorias são pontuadas de forma semi-quantitativa com valores de 0 a 10.

k) Número de produtos produzidos por ano – Qual é a produção esperada de produtos por ano?

- 0: menos de 10 produtos;
- 1: 10 a 100 produtos;
- 2: 100 a 1000 produtos;
- 3: 1.000 a 5.000 produtos;
- 4: 5.000 a 10.000 produtos;
- 5: 10.000 a 50.000 produtos;
- 6: 50.000 a 100.000 produtos;
- 7: 100.000 a 500.000 produtos;
- 8: 500.000 a 1 milhão de produtos;
- 9: 1 a 5 milhões de produtos;
- 10: mais de 5 milhões de produtos.

l) Tamanho (peso/volume) – Qual é o peso do produto?

- 0: menos que 1g;
- 1: 1 a 10g;
- 2: 10g a 1kg;
- 3: 1 a 5kg;

- 4: 5 a 20kg;
- 5: 20 a 100kg;
- 6: 100 a 500kg;
- 7: 500kg a 1,5ton.;
- 8: 1,5 a 20ton;
- 9: 20 a 100ton;
- 10: mais que 100ton.

m) Número de materiais diferentes – Qual é o número esperado de diferentes materiais no produto?

- 0: 1 material único;
- 1: 2 materiais diferentes;
- 2: 3 materiais diferentes;
- 3: 4 materiais diferentes;
- 4: 5 materiais diferentes, sendo a maioria de fácil identificação;
- 5: 5 a 10 materiais diferentes, sendo a maioria de fácil identificação e alguns não;
- 6: 10 a 15 materiais diferentes, sendo a maioria de fácil identificação e alguns não;
- 7: 15 a 20 materiais diferentes, sendo a maior parte não facilmente identificável;
- 8: 20 a 25 materiais diferentes, sendo a maior parte não facilmente identificável;
- 9: mais de 25 materiais diferentes, sendo a maior parte não facilmente identificável.

n) Mistura de materiais – Qual é a mistura de materiais esperada no produto?

- 0: Produtos de material único que não precisa ser separado;
- 1: materiais são facilmente separáveis;
- 2: materiais ainda são puros e de fácil separação, mas pode precisar de instruções de desmontagem;
- 3: materiais de fácil separação, mas demandam tempo e necessitam de informações para desmontagem;

- 4: a desmontagem não é realizada facilmente, algumas ferramentas ou informações extras são necessárias;
- 5: a separação do material requer ferramentas e informações extras;
- 6: conhecimentos sobre a desmontagem do produto e ferramentas são necessários;
- 7: bons conhecimentos sobre a desmontagem do produto, diferentes informações, informações adicionais e ferramentas são necessários;
- 8: a desmontagem e separação do material requerem empresas certificadas;
- 9: a desmontagem e a separação requerem grande conhecimento da tecnologia de separação;
- 10: pode não ser possível desmontar o material e muitos materiais não podem ser separados.

o) Materiais Escassos – Quão raros são os materiais utilizados no produto?

- 0: materiais escassos não são usados;
- 1 a 3: poucos materiais escassos são usados, mas nenhum deles é extremamente raro;
- 4 a 5: um material corresponde a menos de 4ppm na crosta terrestre e é usado como elemento traço;
- 6 a 7: alguns (2 a 3) materiais raros são usados como elementos traço e os seus efeitos no ambiente e na saúde não são completamente conhecidos;
- 8 a 9: alguns (3 a 5) materiais raros são usados e o produto pode conter outros materiais raros;
- 10: muitos materiais extremamente raros são usados, e eles são de difícil contagem; a toxicidade desses materiais ainda não é conhecida.

p) Material Tóxico – Quantos materiais tóxicos diferentes serão utilizados?

- 0: materiais tóxicos não são utilizados (não fazem parte das listas negras e cinzas);
- 1 a 3: alguns materiais da lista cinza são utilizados;
- 4 a 5: pelo menos um material da lista negra é utilizado e alguns da lista cinza;
- 6 a 7: materiais da lista negra são utilizados e alguns da lista cinza;

8 a 9: pelo menos um material muito tóxico para a saúde e para o meio ambiente é utilizado;

10: muitos materiais muito tóxicos para a saúde e para o meio ambiente são utilizados.

q) Consumo de Energia na fase de uso – Qual é o consumo de energia pelo produto esperado em um ano?

0: menos de 1Wh/ano;

1: 1 a 10 Wh/ano;

2: 10 a 100 Wh/ano;

3: 100 a 1000 Wh/ano;

4: 1 a 100 kWh/ano;

5: 100 a 1000 kWh/ano;

6: 1 a 10 MWh/ano;

7: 10 a 100 MWh/ano;

8: 100 a 1000 MWh/ano;

9: 1 GWh/ano a 1 TWh/ano;

10: mais de 1TWh/ano.

r) Impacto Ambiental da Fonte de Energia – Quão impactantes são as fontes de energia utilizadas durante o uso do produto?

0 a 2: produtos que não consomem energia ou utilizam fontes de energia renováveis;

3 a 5: a fonte de energia utilizada para a fase de uso causa um impacto ambiental significativo;

6 a 10: a fonte de energia utilizada na fase de uso é não renovável e causa um impacto ambiental dominante.